

Г. КИНГ

УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРАНЗИСТОРНЫХ УСТРОЙСТВ

·ЭНЕРГИЯ·

МАССОВАЯ
РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 834

Г. КИНГ

УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРАНЗИСТОРНЫХ УСТРОЙСТВ

Перевод с английского Т. И. ШИЛЕЙКО



«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1973

6Ф2.9
К 41
УДК 621.396 : 621.382.3

Г. Кинг

К 41 Устранение неисправностей транзисторных устройств. Пер. с англ. М., «Энергия», 1973.

112 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека, вып. 834).

Книга посвящена вопросам отыскания и устранения неисправностей транзисторных устройств. Характерной ее особенностью является рассмотрение принципов работы транзисторной аппаратуры без предварительного изучения схем на электронных лампах.

Книга рассчитана на широкий круг радиолюбителей.

6Ф2.9

$К \frac{0345-245}{051(01)-73} 261-73$

GORDON J. KING
RAPID SERVICING OF TRANSISTOR EQUIPMENT
GEORGE NEWNES LTD., LONDON, 1966.

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА

В этой книге я решил описать транзисторы, транзисторные схемы и неисправности в них так, как будто на свете никогда не существовало вакуумных электронных ламп. Не буду сравнивать здесь также работу электронной лампы и работу транзистора. Я убежден, что пройдет совсем немного лет и вакуумные электронные лампы станут музейной редкостью. Более того, я убежден, что тот, кто объясняет новичкам, в чем состоят многочисленные преимущества транзисторов по сравнению с электронными лампами, лишь забивает им голову совершенно ненужными сведениями.

Для тех, кто решил заняться ремонтом электронной аппаратуры, лучше всего, пожалуй, начать с изучения полупроводниковых приборов и транзисторов и лишь потом, и то если это окажется необходимым, заняться электронными лампами.

Конечно, некоторые вакуумные электронные приборы будут продолжать сосуществовать с транзисторами и полупроводниковыми приборами будущего. К числу таких вакуумных приборов, по всей вероятности, нужно отнести лампы бегущей волны, мощные генераторные лампы, вакуумные устройства электронного сверления и сварки, а также приемные телевизионные трубки. Однако большинство малых вакуумных приборов как существующих ныне, так и тех, которые, возможно, появятся в будущем, рано или поздно будет вытеснено приборами, основанными на технике твердого тела. Что же касается бытовой электронной аппаратуры (радиоприемники, телевизоры, усилители низкой частоты и т. п.), то здесь уже сегодня транзисторы занимают доминирующее положение.

Эта книга посвящена обнаружению неисправностей. Чтобы охватить большее разнообразие всевозможных приборов, каждая из основных глав книги делится на две части соответственно двум главным частям любого электронного прибора, а именно усилителям и генераторам сигналов. Описаны всевозможные типы генераторов и усилителей, а в заключение отдельная глава посвящена обнаружению неисправностей в обычных портативных транзисторных радиоприемниках, столь популярных в наши дни.

В последнее время начали появляться высококачественные транзисторные усилители низкой частоты. Им мы тоже уделили внима-

ние в этой книге, где, в частности, будут приведены примеры промышленно выпускаемых приборов такого типа.

Вводные главы книги посвящены полупроводниковым приборам, транзисторам и описанию принципа их действия. В них описывается, как включать транзистор в схему, как подводить к нему питание и как проверять режим работы транзистора. В специальной главе описываются параметры сигналов, действующих в транзисторных схемах, и условия контроля этих параметров.

Книга рассчитана на читателя, знакомого с началом современной электроники и схемотехники. В то же время мы отнюдь не предполагаем, что наш читатель имеет инженерное образование в области электроники. Книга адресуется, в основном, техникам, занимающимся ремонтом электронной аппаратуры и собирающимся освоить современные транзисторные приборы, а также энтузиастам-любителям, тысячи и тысячи которых получают сейчас большое удовольствие, экспериментируя с транзисторными схемами.

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Эта книга в популярной форме знакомит читателя с основами теории работы транзистора и транзисторной схемотехникой, знание которой необходимо при ремонте бытовой аппаратуры (супергетеродинных радиоприемников, телевизоров, усилителей низкой частоты).

Книга дает ответы на множество технических вопросов, возникающих при отыскании и устранении неисправностей в этих видах транзисторной аппаратуры. На примерах высококачественного стереофонического усилителя и супергетеродинного радиоприемника дан анализ наиболее часто встречающихся неисправностей в различных каскадах и, когда это необходимо, показано, как полностью настроить транзисторный супергетеродин, используя при этом простейшую измерительную аппаратуру. Важным достоинством книги являются имеющиеся в ней практические советы, касающиеся особенностей работы с полупроводниковыми приборами и печатными платами при ремонте и методике измерений, при отыскании неисправностей и настройке транзисторных каскадов.

Книга Г. Кинга окажет большую помощь радиолюбителям в их практической деятельности, а также может быть полезной широкому кругу читателей, интересующихся транзисторной техникой и желающих применить полученные теоретические сведения в практике самостоятельного ремонта бытовой транзисторной аппаратуры.

Редактор

ГЛАВА ПЕРВАЯ

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ТРАНЗИСТОРОВ И ТРАНЗИСТОРНЫХ СХЕМ

ПОЛУПРОВОДНИКИ

Транзистор целиком сосредоточен внутри кристалла. При этом используются два основных вида кристаллов, а именно кристаллы германия и кремния. Чистый кристалл представляет собой очень хороший изолятор, однако для того чтобы превратиться в транзистор, кристалл должен получить способность проводить электрический ток. Такая способность достигается за счет добавления примесей к материалу кристалла. Вначале берется очень чистый материал, а затем его свойства изменяются за счет добавления строго определенного количества примесей. Кристалл при этом перестает быть изолятором и становится полупроводником.

Полупроводник можно определить как вещество, которое не является ни хорошим изолятором, ни хорошим проводником. По своим свойствам он находится как бы между этими двумя крайностями.

Всякий проводник электрического тока должен содержать *носители тока*, которые и обеспечивают его электропроводность. Известно, например, что медь — хороший проводник. Как и все другие вещества, медь состоит из атомов. Каждый атом в свою очередь состоит из ядра, вокруг которого по орбитам движутся электроны. Ядро имеет положительный заряд, а электроны — отрицательный. Атом электрически нейтрален, поскольку положительный заряд ядра равен суммарному отрицательному заряду электронов. Каждый электрон, находящийся на орбите, связан со своим ядром. Если орбита проходит близко от ядра, то переместить электрон с этой орбиты очень трудно. Электроны, находящиеся на внешних орбитах, связаны с ядром значительно слабее. Например, в меди, которая представляет собой хороший проводник, электроны, находящиеся на внешних орбитах, постоянно перескакивают от одного атома к другому. Такие электроны часто называют *свободными электронами.*

Свободные электроны и являются носителями электрического тока в проводнике. Если к проводнику приложить разность электрических потенциалов (например, подсоединить к концам медного провода электрическую батарею), то это заставит свободные электроны двигаться вдоль проводника от отрицательного полюса к положительному. Батарею в таком случае можно рассматривать как «насос», который собирает электроны и затем отталкивает их от конца проводника, соединенного с отрицательным полюсом.

Упорядоченное движение электронов и представляет собой электрический ток. Таким образом можно сказать, что электрический ток течет по проводнику, соединенному с батареей. Носителями тока служат электроны и, поскольку электроны заряжены отрицательно, они получили название *отрицательных носителей тока.* Заметим также, что хотя электроны движутся от отрицательного полюса к положительному, принято считать, что электрический ток протекает от положительного полюса к отрицательному. Так получилось потому, что направление электрического тока было принято еще до появления электронной теории. В дальнейшем, когда стало понятно, что электрический ток — это движение электронов, а движутся они от отрицательного полюса к положительному, ранее принятое условие все же сохранилось

Чем больше свободных электронов имеется в материале, тем больше его электрическая проводимость. Материал, не содержащий свободных электронов, представляет собой совершенный диэлектрик. В чистом кристалле свободные электроны отсутствуют (вместо «свободные» иногда говорят «подвижные» электроны).

В кристаллах, используемых для построения транзисторов, носители тока образуются за счет добавления примесей. Если надо получить полупроводник на основе германия, то к исходному материалу чаще всего добавляют мышьяк. Добавление мышьяка вызывает сложные процессы в кристаллической структуре. В сильно упрощенном виде эти процессы можно описать следующим образом. На внешней орбите атома германия имеется четыре электрона, тесно связанных с атомным ядром. Эти электроны не являются подвижными и не могут служить носителями тока. На внешней же орбите каждого атома добавляемого мышьяка имеется пять электронов. После введения примеси отдельные атомы германия в узлах кристаллической решетки замещаются атомами мышьяка. Из пяти внешних электронов атома мышьяка четыре составляют пары с каждым из четырех электронов соседнего атома германия. Пятый электрон атома мышьяка не находит себе пары. Он остается свободным и в дальнейшем начинает играть роль свободного носителя тока [1].

После добавления мышьяка германий превращается из изолятора в полупроводник, в котором носителями тока являются электроны. Такие полупроводники получили название полупроводников *n*-типа (*n* — начальная буква слова *negative* — отрицательный).

Остается неясным, зачем нам понадобилось называть материал

---

[1] Предлагаемое автором описание процесса образования свободных носителей в кристалле германия далеко от действительного. На самом деле объяснение проводимости таких материалов, как германий и кремний, кроется не в структуре внешней оболочки атомов, а в структуре кристаллической решетки. В кристалле германия каждый атом, расположенный в узле решетки, связан с четырьмя ближайшими атомами. Атомы, расположенные в узлах кристаллической решетки, находятся так близко друг от друга, что их внешние электроны становятся как бы общими для всей структуры. Если рассматривать каждый атом в отдельности, то оказывается, что его внешняя оболочка содержит уже не четыре, а восемь электронов (четыре своих и по одному от каждого из четырех близрасположенных атомов). Читателю, который вообще знаком со строением атома, хорошо известно, что именно оболочка, состоящая из восьми электронов, оказывается устойчивой в том смысле, что она не отдает электронов и не принимает дополнительных. Это явление становится еще более понятным, если ввести в рассмотрение разрешенные и запрещенные уровни энергии. Читателям, которые хотят до конца разобраться в механизме работы транзисторов и других полупроводниковых приборов, можно рекомендовать книгу И. П. Степаненко «Основы теории транзисторов и транзисторных схем» М., «Энергия», 1971. *Прим. перев.*

полупроводником *n*-типа, если ранее было установлено, что всякая проводимость всегда определяется наличием свободных отрицательных электронов. Однако в теории полупроводников введен в рассмотрение также и другой вид носителей электрического тока.

Полупроводник другого типа получается в том случае, если к четырехвалентному основному материалу кристалла добавляется примесь, представляющая собой вещество, атомы которого имеют на своих внешних орбитах только три электрона. Примером такого вещества может служить индий.

Если индий добавить к германию, то три электрона, расположенные на внешней орбите атома индия, составляют пары только с тремя электронами соседнего атома германия. Таким образом, на каждый добавляемый атом индия приходится один электрон во внешней оболочке атома германия, не нашедший себе пары. Подобное отсутствие парного электрона получило название *положительной дырки.*

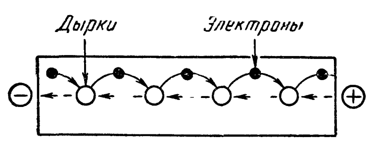


Рис. 1-1.

Если к граням стержня, вырезанного из полупроводника подобного типа, подсоединить выводы батареи, то электроны индия начнут перемещаться от дырки к дырке. Другими словами, каждый данный электрон будет перескакивать от данной дырки к дырке, имеющейся у близрасположенного атома. В том месте, где ранее находился этот электрон, остается дырка, в то время как дырка, имевшаяся у близрасположенного атома индия, оказывается заполненной. Если электроны перемещаются от отрицательного полюса к положительному, то дырки соответственно перемещаются от положительного полюса к отрицательному, как это показано на рис. 1-1.

Поскольку дырка есть не что иное как недостаток электрона, она может рассматриваться как положительный заряд и поэтому дырки принято называть *положительными носителями электрического тока.* Полупроводники такого вида получили название полупроводников *p*-типа (*p* — первая буква слова positive — положительный).

ПЕРЕХОД В ПОЛУПРОВОДНИКЕ

В транзисторе используются как полупроводники *p*-типа, так и полупроводники *n*-типа, причем конструкция транзистора строится таким образом, что между полупроводниками двух различных типов образуется так называемый переход.

Перед тем как переходить к описанию работы транзистора, необходимо более подробно рассмотреть процессы, происходящие в переходе между полупроводниками. Типичный переход образуется в том случае, если ввести в соприкосновение кусочек полупроводника *p*-типа с кусочком полупроводника *n*-типа. На практике вместо того, чтобы использовать два куска материала с введенными в них различными примесями, поступают иначе. Используется единственный кристалл, а вот примеси вводятся так, что половина этого кристалла становится полупроводником *n*-типа, а другая половина того же кристалла — полупроводником *p*-типа. Там, где проходит граница между областями кристалла с различными типами проводимости, образуется *p-n* переход.

Что же происходит дальше, после того как в кристалл введены два различных вида примесей? В области перехода возникает так называемый *потенциальный барьер*. Причина образования потенциального барьера состоит в том, что некоторые электроны из области, где имеется проводимость n-типа, диффундируют через переходы и нейтрализуют дырки в области, где имеется проводимость p-типа. В результате этого в непосредственной близости к переходу полупроводник n-типа благодаря отсутствию перешедших электронов приобретает положительный заряд, а проводник p-типа, потерявший некоторое количество дырок, занятых перешедшими электронами, приобретает отрицательный заряд. Положительный и отрицательный заряды, образовавшиеся по обеим сторонам перехода, в свою очередь создают разность потенциалов, которая в теории полупроводников получила название потенциального барьера. Сказанное иллюстрируется рис. 1-2.

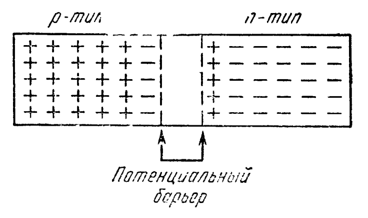
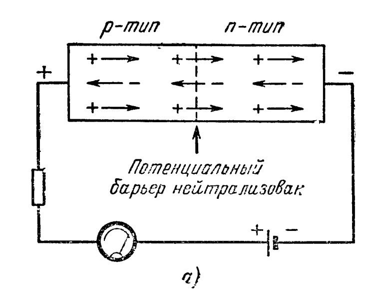


Рис. 1-2.



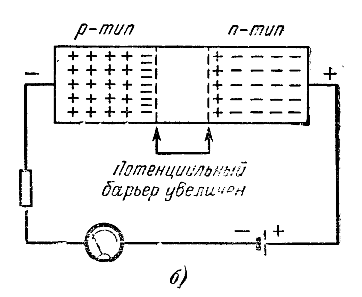


Рис. 1-3.

Величину потенциального барьера нельзя измерить, подключая, например, вольтметр к выводам полупроводникового диода. Нельзя потому, что потенциалы существуют лишь в непосредственной близости от перехода. Тем не менее, сам эффект наличия потенциального барьера можно продемонстрировать.

Если к граням стержня, половина которого представляет собой проводник p-типа, а вторая половина — полупроводник n-типа, подсоединить цепь, состоящую из последовательно включенных батареи и амперметра, то можно легко убедиться, что при определенной полярности подключения батареи амперметр зарегистрирует наличие лишь весьма слабого тока. Если же поменять местами положительный и отрицательный полюсы батареи, величина тока окажется значительно больше. Подобное явление наблюдается в приборах, получивших название диодов.

В случае, показанном на рис. 1-3, *а*, положительный полюс батареи соединен с полупроводником p-типа, а отрицательный — с по-

лупроводником *n*-типа. На рис. 1-2 мы замечаем, что при таком включении полярность батареи противоположна полярности потенциального барьера. Напряжение батареи нейтрализует потенциальный барьер. Электроны из полупроводника *n*-типа свободно переходят при этом в полупроводник *p*-типа, а дырки из полупроводника *p*-типа свободно переходят в полупроводник *n*-типа.

ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ПРОВОДИМОСТИ

Из сказанного ясно, что в случае, показанном на рис. 1-3, *а*, возможен свободный обмен положительными и отрицательными носителями электричества. Данные условия обеспечивают хорошую проводимость, и амперметр показывает большую величину тока. Когда батарея включена так, как показано на рис. 1-3, *а*, говорят, что переход смещен и в приборе имеет место *прямая проводимость* (проводимость в прямом направлении).

Если поменять местами выводы батареи и включить ее так, как показано на рис. 1-3, *б*, напряжение батареи складывается с напряжением потенциального барьера, барьер расширяется и обычный механизм протекания тока сказывается невозможным. Говорят, что теперь переход находится в условиях *обратной проводимости* (смещен в обратном направлении).

Амперметр может зарегистрировать лишь весьма слабый ток. Этот ток получил название обратного тока *p-n* перехода, и его наличие объясняется присутствием так называемых *неосновных носителей*, речь о которых пойдет ниже.

НЕОСНОВНЫЕ НОСИТЕЛИ

Перед тем как пойти дальше, мы должны рассмотреть еще одно явление, которое пока еще осталось необъясненным. Это — небольшой ток, который протекает через переход, смещенный в обратном направлении. Происходит это благодаря наличию неосновных носителей. Неосновные носители — это подвижные электроны в полупроводнике *p*-типа и дырки в полупроводнике *n*-типа.

Именно неосновные носители и обеспечивают проводимость перехода в обратном направлении. Нормально количество неосновных носителей по сравнению с количеством основных настолько мало, что ток, текущий в обратном направлении, имеет весьма небольшую величину. Однако неосновные носители начинают быстро размножаться при увеличении температуры перехода Происходит это потому, что температурное движение частиц становится более интенсивным и большее количество электронов отрывается от атомов и принимает участие в процессе проводимости.

Как будет показано в следующих главах, наличие токов утечки в транзисторах — это чрезвычайно важный фактор. Чтобы исключить его влияние на работу схемы, должны приниматься специальные меры. Пока что мы можем лишь отметить, что, например, обратный ток в схеме, показанной на рис. 1-3, *б*, резко возрастает, если поместить переход вблизи от источника тепла.

Ток утечки возрастает и в том случае, если на переход падает свет. Физический механизм возникновения такого явления чрезвычайно сложен, поэтому скажем здесь лишь, что свет образует пары электрон—дырка по обеим сторонам перехода. Влияние этих пар на потенциальный барьер сводится к тому, что электроны отражаются

от барьера не так, как дырки, и все это вместе взятое приводит к возрастанию тока утечки. Такая дополнительная составляющая тока утечки получила название тока *фотоэлектрической проводимости*.

Обычные транзисторы защищают от этого явления путем использования непрозрачных корпусов. Правда, если раньше использовались металлические корпуса, то сейчас все большее распространение получают пластмассовые. Существуют также транзисторы, специально разработанные для использования фотоэлектрического эффекта. Ток фотопроводимости, образующийся в *p-n* переходе, затем усиливается этими транзисторами.

Таким образом, переход в полупроводниковом материале оказывается чувствительным не только к теплу, но и к свету.

Переход в полупроводниковом материале ведет себя, следовательно, как выпрямитель, или диод. Он пропускает ток только в одном направлении. Описанная выше конструкция получила название плоскостного диода.

Аналогичный эффект может быть получен также в точке касания полупроводника и металла. Таким образом построены хорошо известные кристаллические детекторы, состоящие из кристаллика и металлической пружины. Такую же конструкцию имеют и современные точечные диоды. Эффект диффузии носителей через переход может быть получен и при соединении между собой двух металлов, если только выбранная пара металлов характеризуется существенным различием в образовании носителей тока.

ВЫВОДЫ

Подведем теперь некоторые итоги. Чистый кристалл представляет собой очень хороший изолятор, но его можно превратить в полупроводник, если добавить к нему примеси, порождающие в кристаллической структуре носители тока. В зависимости от вида примесей такими носителями могут быть либо электроны, либо дырки. Полупроводник, в котором носителями тока являются электроны, называется полупроводником *n*-типа, а полупроводник, в котором носителями тока являются дырки, называется полупроводником *p*-типа. Дырки и электроны имеют заряды одной и той же величины, но противоположного знака: электроны имеют отрицательный заряд, а дырки — положительный.

Обладая зарядами противоположных знаков, электроны и дырки притягиваются друг к другу, в результате чего возникает процесс заполнения дырок электронами. Этот процесс имеет фундаментальное значение для работы полупроводниковых приборов. Процесс заполнения дырки электроном называется *рекомбинацией*, и после того, как он совершился, ни электрон, ни дырка не могут больше служить в качестве носителей электрического тока.

Не так легко понять, каким образом дырка может переносить электрический ток. Особенно трудно понять это тем, кто уже свыкся с мыслью, что носителями тока могут быть только электроны. Однако как только мы представим себе, что в результате добавления примесей, сопровождающегося образованием полупроводника *p*-типа, в материале оказывается значительно меньше электронов, чем свободных мест (дырок), которые могли бы быть заняты этими электронами, остальное уже не составляет труда. В полупроводниках такого типа электроны перескакивают с соседних атомов, оставляя в том месте, где они находились, новые дырки. Таким образом, вмес-

то первоначально существовавших дырок все время образуются новые. Дырки блуждают по полупроводнику случайным образом, но если к полупроводнику приложить разность электрических потенциалов (см. рис. 1-1), то движение дырок становится управляемым.

Примеси, добавляемые к основному кристаллу для образования полупроводника *p*- или *n*-типа, иногда называют соответственно *акцепторами* или *донорами*. Примесь, приводящая к образованию дырок, как бы отбирает электроны у соседних атомов (акцептор — по-латыни значит «получающий»), а примесь, приводящая к образованию полупроводника *n*-типа, отдает свои электроны кристаллу («донор» — по-латыни значит «дающий»).

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОДОВ

Теперь мы можем перейти к рассмотрению характеристик плоскостного диода. Предположим, что в нашем распоряжении имеется схема, показанная на рис. 1-3, *а*, и что напряжение батареи в этой

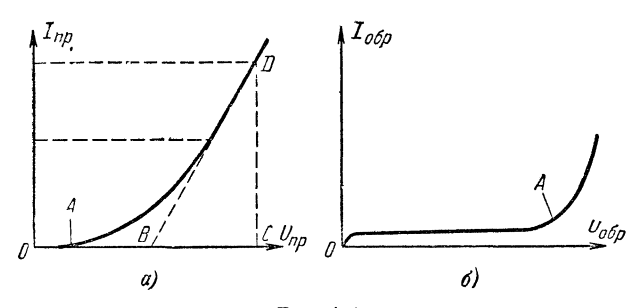


Рис. 1-4.

схеме можно изменять от нуля до достаточно больших величин. Проделав это, мы увидим, что ток через переход возрастает сначала медленно, а затем все быстрее и быстрее. Если построить график зависимости прямого тока от прямого напряжения, то в результате получится характеристика, показанная на рис. 1-4, *а*.

Из рисунка видно, что ток через переход начинает протекать не сразу. Причиной этому является потенциальный барьер. Ток может начать течь только после того, как внешнее напряжение сначала сравняется с напряжением барьера (точка *А* на характеристике), а затем начнет превышать его. Разность напряжений между точками *В* и *С* на характеристике, поделенная на разность величин тока между точками *С* и *D*, определяет внутреннее сопротивление, или наклон характеристики диода. У мощных кремниевых диодов внутреннее сопротивление оказывается равным лишь малым долям ома, чем и объясняется высокая эффективность этих приборов. У малых диодов внутреннее сопротивление значительно больше. Кривая, показанная на рис. 1-4, *а*, называется прямой характеристикой диода.

Рассмотрим теперь схему, показанную на рис. 1-3, *б*, и снова будем предполагать, что напряжение батареи можно изменять непрерывно от нуля до достаточно больших величин. Если построить кривую зависимости тока от напряжения, она будет иметь вид, по-

казанный на рис. 1-4, *б*. Такая кривая получила название *обратной характеристики* диода.

В определенном диапазоне изменения напряжения протекающий через переход ток имеет весьма малую величину (это и есть ток утечки). Однако начиная с определенного достаточно большого напряжения (точка *А* на рис 1-4, *б*), ток резко возрастает. Точка *А* определяет начало процесса, называемого пробоем перехода, а соответствующее напряжение называется *напряжением пробоя*. Величина напряжения пробоя определяется типом диода. Напряжение пробоя ограничивает величину обратного напряжения, которое может быть приложено к диоду. Само явление пробоя объясняется тем, что количество неосновных носителей начинает резко возрастать. Как и следовало ожидать, это явление в большой степени зависит от температуры перехода.

ЭФФЕКТ ЗЕНЕРА

Напряжение, при котором возникает пробой перехода, смещенного в обратном направлении, называется также напряжением Зенера, по имени ученого К. Зенера, который впервые начал использовать механизм пробоя плоскостных диодов.

Обычно полупроводниковые диоды эксплуатируются при таких условиях, когда прикладываемое к ним обратное напряжение не достигает напряжения Зенера. Однако в определенных случаях к диодам прикладывается обратное напряжение, заведомо превышающее величину напряжения пробоя. В подобном случае диод пробивается, что сопровождается внезапным и существенным возрастанием обратного тока, как это отмечено буквой *А* на рис. 1-4, *б*. Часть тока, протекающего при таких условиях, за вычетом нормального тока утечки, иногда называют током Зенера. Переход от тока утечки к току Зенера совершается настолько резко, что величина напряжения Зенера поддерживается постоянной при относительно больших изменениях тока Зенера.

Описанное явление используется в регуляторах напряжения, устройствах, создающих опорное напряжение, устройствах защиты от перегрузок, ограничителях сигналов и многих других приборах.

Если соединить диод последовательно с ограничивающим резистором и приложить к такой схеме достаточно большое обратное напряжение, то падение напряжения на диоде, а заодно и на подключенной параллельно диоду нагрузке будет поддерживаться постоянным независимо от изменений тока нагрузки. Более того, напряжение Зенера будет оставаться постоянным даже в том случае, когда напряжение питания изменяется в определенных пределах. Таким образом можно получить схему простого стабилизатора напряжения.

Что же на самом деле происходит в такой схеме? Если ток, текущий через нагрузку, увеличивается, то ток, текущий через последовательно включенный ограничивающий резистор, также будет стремиться стать больше. Однако этого не происходит, потому что протекающий через диод ток Зенера уменьшается, а величина тока, текущего через ограничивающий резистор, остается постоянной. Напряжение Зенера на диоде также остается постоянным, а это значит, что остается постоянным и напряжение на нагрузке. Существует много вариантов схем подобного стабилизатора, однако работа всех этих схем основывается на только что описанном принципе. Интересно заметить, что эффект Зенера проявляется во всех плос-

костных полупроводниковых диодах, однако далеко не все диоды пригодны для использования в схемах стабилизации напряжения. Диоды, в которых эффект Зенера проявляется достаточно полно и может быть использован для целей стабилизации, получили название стабилитронов.

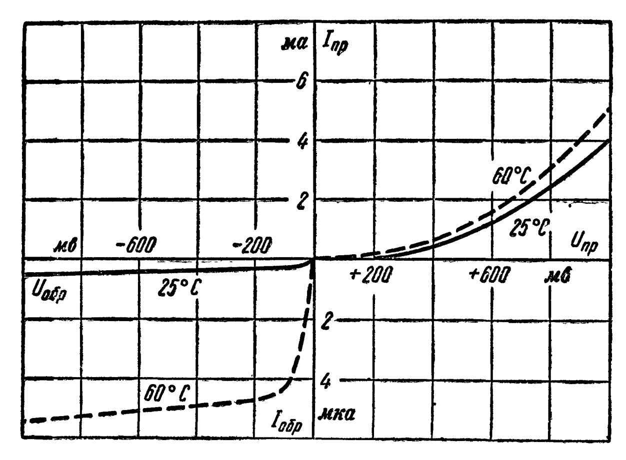


Рис. 1-5.

Пример использования стабилитрона можно найти в гл. 7 этой книги (см. рис. 7-3). Заметим, что для изображения стабилитрона в схеме использован специальный символ. Резистор R_1 на рис. 7-6 — это и есть ограничивающий резистор. Напряжение Зенера используется здесь для поддержания постоянным напряжения эмиттера управляющего транзистора T_2.

Две рассмотренные выше характеристики диода объединены и показаны на рис. 1-5. Обращаем внимание читателя на то, как прямая и обратная характеристики (особенно обратная) зависят от температуры. Заметим также, что шкала для прямого тока дана в миллиамперах (*ма*), а шкала для обратного тока дана в микроамперах (*мка*), т. е. в миллионных долях ампера.

СОКРАЩЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

До сих пор величину электрического тока мы сокращенно обозначали буквой I, а величину напряжения буквой U. Начиная с этого момента, мы будем обозначать прямой ток и прямое напряжение соответственно через $I_{пр}$ и $U_{пр}$, а обратный ток и обратное напряжение соответственно через $I_{обр}$ и $U_{обр}$. Такие индексы, как правило, используются в литературе по полупроводникам для того, чтобы было точно известно, о каком именно токе и о каком напряжении идет речь.

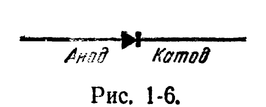


Рис. 1-6.

Диод обычно обозначается символом, показанным на рис. 1-6. Вертикаль-

ная толстая линия называется катодом, а острие стрелки — анодом. Стрелка на рисунке соответствует полупроводнику *p*-типа, а толстая вертикальная линия — полупроводнику *n*-типа. Прямой ток протекает в направлении, указываемом стрелкой. Прямой ток может протекать лишь в тех случаях, когда напряжение анода положительно по отношению к катоду.

ТРАНЗИСТОР

В определенном смысле транзистор ведет себя как два плоскостных диода, имеющих общий электрод. Этот общий электрод называется *базой*. Он может быть выполнен либо из полупроводника *n*-типа, либо из полупроводника *p*-типа. Если база выполнена из полупроводника *n*-типа, она размещается между двумя слоями полупроводника *p*-типа. Если же база выполнена из проводника *p*-типа, она

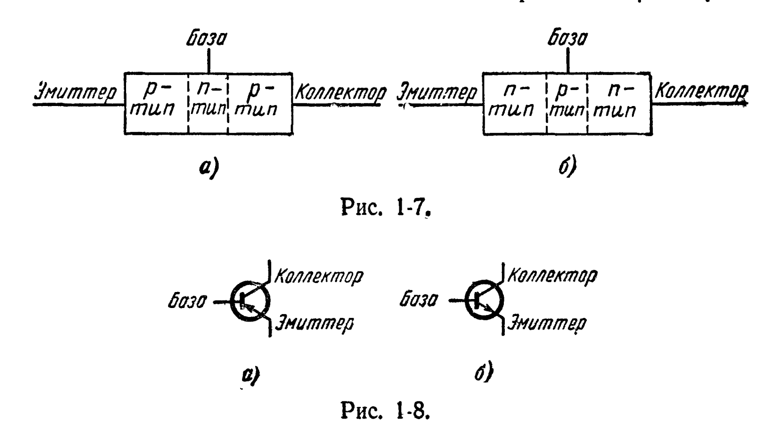


Рис. 1-7.

Рис. 1-8.

размещается между двумя слоями полупроводника *n*-типа. В обоих случаях в приборе имеется два перехода, что образует структуру либо *p-n-p*, либо *n-p-n*, причем слой полупроводника, расположенный в середине, является общим для обоих переходов. Сами транзисторы в зависимости от конструкции также относят к типу *p-n-p* либо к типу *n-p-n*. Слои полупроводникового материала, расположенные по обе стороны от центрального слоя, называются *коллектором* и *эмиттером*. Геометрические образы транзисторов показаны на рис. 1-7. Условное обозначение транзистора *p-n-p* типа показано на рис. 1-8,*а*; условное обозначение транзистора *n-p-n* типа показано на рис. 1-8, *б*.

Переход, расположенный со стороны эмиттера, называется *эмиттерным переходом*, а переход, расположенный со стороны коллектора, называется *коллекторным переходом*. У некоторых транзисторов оба перехода совершенно идентичны, а у других — коллекторный переход существенно отличается от эмиттерного.

В рабочем режиме эмиттерный переход обычно смещается в прямом направлении, а коллекторный переход — в обратном. Проще всего сделать это так, как показано на рис. 1-9, *а* для *p-n-p* транзистора или на рис. 1-9, *б* для *n-p-n* транзистора. Заметим, что полярность

включения батареи на рис. 1-9, *б* противоположна полярности включения батареи на рис. 1-9, *а*.

Если включить амперметр последовательно с эмиттерным резистором $R_э$, то он зарегистрирует протекание прямого тока. У небольших транзисторов величина прямого тока оказывается не столь уж большой, всего 100—200 *мка*. В схемах, реализуемых на практике, величина напряжения между эмиттером и базой равна примерно 200 *мв* (напряжение между эмиттером и базой в дальнейшем мы будем обозначать через $U_{э.б}$). Максимальная величина тока эмиттера ограничивается элементами схемы. Если этот ток будет слишком велик, транзистор скоро выйдет из строя.

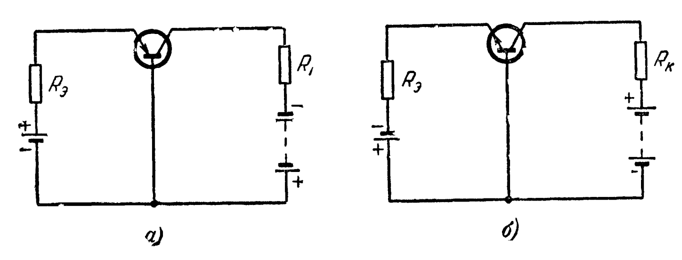


Рис. 1-9.

Поскольку коллекторный переход смещен в обратном направлении, через него может протекать лишь очень малый ток утечки. Поэтому мы будем очень удивлены, когда включенный в коллекторную цепь амперметр зарегистрирует протекание значительного коллекторного тока.

Убедившись, что полярность включения батареи в коллекторную цепь не перепутана, и продолжая искать дальше, в чем же дело, мы, возможно, обнаружим, что относительно большой коллекторный ток протекает лишь потому, что эмиттерный переход смещен в прямом направлении. Продолжая исследование, мы можем убедиться также, что достаточно отключить батарею от цепи эмиттера, как коллекторный ток сразу уменьшится до значений тока утечки. Короче говоря, мы обнаружили транзисторный эффект.

Другими словами, мы обнаружили, что ток коллектора протекает только тогда, когда по цепи эмиттер — база также протекает ток. Продолжая экспериментировать, мы должны обнаружить и то, что ток коллектора зависит от прямого тока, протекающего через эмиттерный переход. Чем больше ток эмиттера, тем больше ток коллектора, и такая зависимость сохраняется все время, пока транзистор продолжает работать. Однако хватит экспериментировать, давайте лучше подумаем, почему же так получается.

ТРАНЗИСТОРНЫЙ ЭФФЕКТ

Рассмотрим сначала транзистор типа *p-n-p*. Эмиттер в таком транзисторе выполнен из полупроводника *p*-типа, а база — из полупроводника *n*-типа. Если включить транзистор в схему, аналогичную показанной на рис. 1-9, *а*, то эмиттер такого транзистора начнет действовать как источник положительных дырок.

Дырки перемещаются к базе, выполненной из полупроводника *n*-типа, поскольку база имеет отрицательный потенциал по отношению к эмиттеру, т. е. созданы условия для проводимости эмиттерного перехода в прямом направлении. Дырки, которые представляют собой положительные заряды, устремляются к отрицательно заряженной базе. Почти все дырки диффундируют сквозь базу и оказываются в области коллекторного перехода. Дырки притягиваются коллектором, поскольку последний в свою очередь заряжен отрицательно по отношению к базе. Движение дырок по направлению к коллектору порождает коллекторный ток.

Хотя коллекторный переход смещен в обратном направлении, через него протекает ток относительно большой величины.

Коллекторный ток зависит при этом от количества дырок, поступающих из эмиттера и диффундирующих сквозь базу. Если увеличить прямой ток, протекающий через эмиттерный переход, увеличится и количество дырок, а это в свою очередь повлечет за собой увеличение коллекторного тока. Правда, некоторое количество дырок, пришедших от эмиттера, рекомбинирует с электронами базы, однако в результате этого уменьшается заряд базы и создаются более благоприятные условия для протекания по материалу базы электрического тока.

Теперь ясно, почему увеличение тока, текущего через переход эмиттер — база, сопровождается увеличением тока, протекающего между эмиттером и коллектором. Ток базы значительно меньше тока эмиттера, поскольку ток эмиттера представляет собой сумму тока базы и тока коллектора.

Так обстоят дела в транзисторе *p-n-p* типа. А что же происходит в *n-p-n* транзисторе? Его работа во многом напоминает все то, что уже было сказано по поводу *p-n-p* транзистора. Поскольку эмиттер в *n-p-n* транзисторе выполнен из полупроводника *n*-типа, он служит в данном случае источником электронов. Таким образом, когда эмиттерный переход смещен в прямом направлении, относительно большой ток, вызванный основными носителями (электронами), проходит через эмиттерный переход. Электроны попадают в базу, которая выполнена из проводника *p*-типа и начинают играть здесь роль неосновных носителей. Электроны диффундируют сквозь базу и достигают области коллекторного перехода. Поскольку база в рассматриваемом случае имеет положительный потенциал по отношению к эмиттеру, она привлекает к себе электроны и коллекторный ток возникает точно так же, как это было описано для транзистора типа *p-n-p*.

Можно сказать, что электроны, достигшие коллекторного перехода, как бы «всасываются» потенциальным барьером. Так возникает коллекторный ток, управляемый потоком неосновных носителей через эмиттерный переход, смещенный в прямом направлении. На рис. 1-3, *б* показан положительный потенциальный барьер, имеющий место в полупроводнике *n*-типа, соединенном с положительным полюсом внешнего источника питания, как это делается с коллектором транзистора *n-p-n* типа (см. рис. 1-9, *б*). Такой положительный потенциальный барьер будет притягивать электроны, диффундирующие сквозь базу. Как и в предыдущем случае, часть электронов, проходящих через материал базы, стремится рекомбинировать с дырками полупроводника *p*-типа. В результате уменьшается заряд и создаются лучшие условия для протекания тока по цепи базы.

ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ТРАНЗИСТОРОВ

Схема включения транзистора, показанная на рис. 1-9, получила название схемы с *общей базой* (или с заземленной базой). Это означает, что база в данном случае представляет собой общий электрод как для входной, так и для выходной цепей. Мы убедились, что если составить электрическую цепь из эмиттерного перехода и соединенного последовательно с этим переходом эмиттерного резистора $R_э$

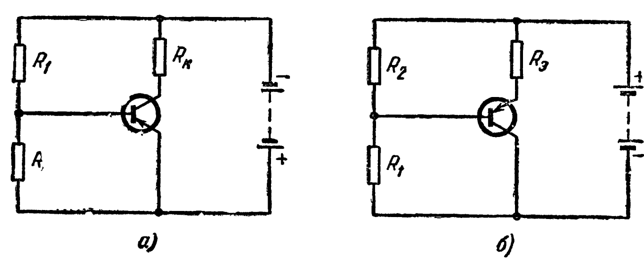


Рис. 1-10.

и пропустить по этой цепи ток изменяющейся величины, то будет изменяться также и величина тока, протекающего по последовательной цепи, составленной из коллекторного перехода и коллекторного резистора $R_к$. Иначе говоря, цепь базы оказывается общей как для эмиттерного, так и для коллекторного тока.

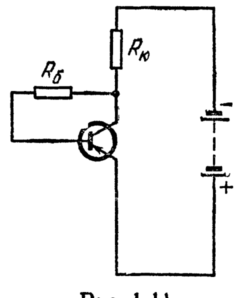


Рис. 1-11.

Две другие возможные схемы включения транзисторов, получившие название схем с *общим эмиттером* и с *общим коллектором*, показаны на рис. 1-10, *а* и *б* соответственно В этих схемах используются транзисторы *р-п-р* типа и одна и та же батарея используется для питания как коллекторного, так и эмиттерного переходов. Эмиттерный переход питается низким напряжением, снимаемым с делителя, составленного из резисторов R_1 и R_2 и подключенного непосредственно к выводам батареи. В результате этого база транзистора приобретает небольшой отрицательный потенциал относительно эмиттера. Величина потенциала базы определяется отношением сопротивлений резисторов R_1 и R_2. Очевидно также, что коллектор имеет отрицательный потенциал как по отношению к базе, так и по отношению к эмиттеру.

Точно такая же схема может быть построена и с транзистором *п-р-п* типа. Однако для того, чтобы получить прямое смещение эмиттерного перехода и обратное смещение коллекторного перехода, полярность включения батареи должна быть в этом случае изменена на противоположную.

Питание базы от делителя напряжений встречается в подавляющем большинстве транзисторных схем, поскольку такое включение обладает существенными преимуществами по сравнению со всеми другими возможными включениями. Одна из возможных

схем питания базы показана на рис. 1-11. Здесь ток эмиттерного перехода протекает по резистору $R_б$, подключенному к точке соединения резистора $R_к$ и коллектора транзистора.

В схемах с общим эмиттером и с общим коллектором также могут быть использованы две раздельные батареи, что, однако, редко встречается на практике. Независимо от выбранной схемы включения транзистора для питания этих схем, как правило, используется одна батарея.

ОТКАЗЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПЕРЕГРЕВА

Выше было установлено, что через переход, смещенный в обратном направлении, может протекать лишь весьма слабый обратный ток, обусловленный наличием неосновных носителей. Если по каким-либо причинам переход нагревается, как это происходит с коллекторным переходом транзистора, работающего в среде с высокой температурой, обратный ток увеличивается вследствие увеличения числа неосновных носителей, проходящих через потенциальный барьер. Это влечет за собой увеличение тока, а следовательно, и дальнейшее повышение температуры перехода. Увеличение температуры вызывает еще большее увеличение тока и т. д. до тех пор, пока не будет достигнуто критическое значение тока и транзистор разрушится. Подобный эффект получил название *отказа в результате перегрева.*

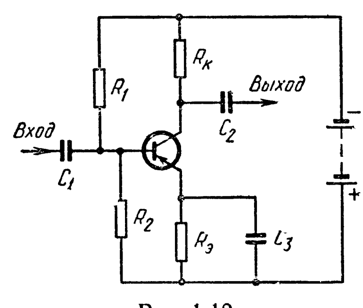


Рис. 1-12

Транзисторные схемы должны содержать средства, предохраняющие транзисторы от перегрева. Например, в схеме, показанной на рис. 1-10, увеличение тока коллектора за счет увеличения числа неосновных носителей повлечет за собой увеличение падения напряжения на резисторе $R_к$. Отрицательный потенциал коллектора при этом уменьшится. Вслед за уменьшением отрицательного потенциала коллектора уменьшится также и отрицательный потенциал базы, и величина коллекторного тока вернется к своему нормальному значению.

В схеме, показанной на рис. 1-10, аналогичный эффект достигается благодаря наличию эмиттерного резистора $R_э$. Поскольку увеличение коллекторного тока сопровождается таким же точно увеличением эмиттерного тока, то падение напряжения на резисторе $R_э$ будет увеличиваться каждый раз, когда увеличивается коллекторный ток. В результате эмиттер оказывается под несколько более отрицательным напряжением по отношению к базе, что эквивалентно запиранию транзистора, при этом уменьшаются ток эмиттерного перехода и ток коллектора.

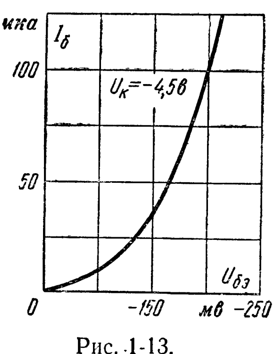
Схема, показанная на рис. 1-10, *а*, не снабжена подобными средствами защиты, и поэтому она непосредственно не используется в транзисторных приборах. Для того чтобы защитить транзистор в подобной схеме от возможного перегрева, добавляется

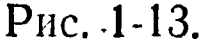
эмиттерный резистор, как показано на рис. 1-11. А чтобы эмиттерный резистор не влиял на усилительные свойства схемы, он обычно шунтируется конденсатором (конденсатор C_3 на рис. 1-12).

Рассмотренные средства защиты стабилизируют также режим транзистора по постоянному току. В практических схемах можно встретить различные варианты описанных методов защиты. В некоторых схемах, например, используются цепи обратной связи по постоянному току с выхода последующего каскада на вход предыдущего.

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Имеет смысл познакомиться еще и с тем, как увеличивается ток эмиттерного перехода при увеличении напряжения, приложенного к этому переходу. Кривая подобной зависимости показана




Рис. 1-13.

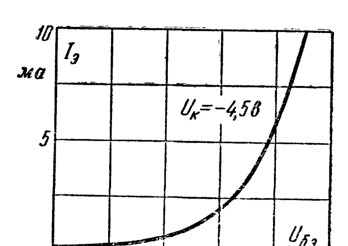


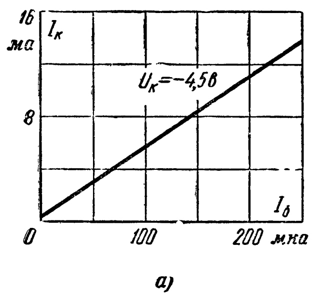
Рис. 1-14.

на рис. 1-13. Такая кривая получила название *входной характеристики* транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером. Поскольку входным электродом схемы является в данном случае база транзистора, характеристика представляет собой зависимость тока базы $I_б$ от напряжения база — эмиттер $U_{б\,э}$. Иными словами, это характеристика эмиттерного перехода.

В начальной области характеристика существенно нелинейна. Если к базовому переходу приложено напряжение примерно —175 *мв*, ток базы составляет около 60 *ма*. В окрестностях этой точки характеристика близка к линейной, и именно в этой области осуществляется работа транзистора. Из рассмотрения характеристики видно, что режим работы эмиттерного перехода характеризуется относительно небольшими значениями напряжения и тока. Можно заметить также, что величина входного сопротивления относительно невелика. Типовые значения входного сопротивления обычно включены в пределах между 500 и 1 000 *ом*, хотя истинная величина входного сопротивления сильно зависит от величины тока базы. При малых значениях тока базы сопротивление увеличивается и наоборот.

Для схемы включения с общей базой входная характеристика представляет собой кривую зависимости тока эмиттера $I_э$ от напряжения эмиттер — база $U_{э.б}$, как показано на рис. 1-14. Здесь типовые значения входного сопротивления (отношения $U_{э.б}/I_э$ для

произвольной кривой) заключены в пределах между 50 и 100 *ом*. Здесь также в начальном участке характеристика существенно нелинейна. Нелинейность начальных участков входных характеристик заставляет подводить к транзистору ток сигнала через резистор, сопротивление которого велико по сравнению со входным сопротивлением транзистора. Кроме того, режим по постоянному току выбирается таким образом, чтобы работа по возможности происходила на линейном участке входной характеристики. Однако поскольку входным сигналом в транзисторной цепи является



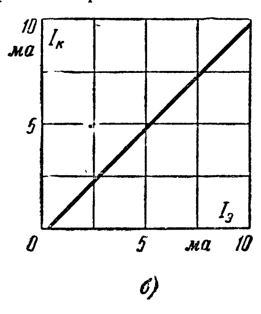


Рис. 1-15.

электрический ток, наличие входного сигнала всегда влечет за собой изменение входного сопротивления. Именно по этим соображениям при построении входной цепи вводятся элементы, уменьшающие влияние изменений входного сопротивления.

Зависимость коллекторного тока $I_к$ от тока базы $I_б$ или тока эмиттера $I_э$ называется *передаточной характеристикой*. Для схемы с общим эмиттером строится зависимость коллекторного тока от тока базы, а для схемы с общей базой строится зависимость коллекторного тока от тока эмиттера. Подобные характеристики показаны на рис. 1-15, *а* и *б* соответственно. Обе характеристики строятся для одного поддерживаемого постоянным значения напряжения коллектора $U_к$. Это значение обычно помечается на характеристиках.

КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ ПО ТОКУ

Из рассмотрения характеристики на рис. 1-15, *а* видно, что при величине тока базы 250 *мка* коллекторный ток имеет величину 14 *ма*. Беря отношение 14 000 *мка* к 250 *мка*, мы получаем 56. Подобное отношение принято называть *коэффициентом усиления по току* транзистора. Аналогичным образом можно получить коэффициент усиления по току для любой другой точки кривой. Поскольку характеристика линейна, повсюду будет получаться точно такое же значение коэффициента усиления.

Коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером принято обозначать буквой В. Значения параметров на постоянном токе принято дополнительно обозначать индексом 0. Коэффициент усиления по току на частоте, отличной от нулевой, необязательно оказывается равным коэффициенту усиления по току на нулевой частоте. Влияние различных процессов, происходящих

в транзисторах, приводит к тому, что величина коэффициента усиления по току, вообще говоря, зависит от частоты.

Показанная на рис. 1-15, *б* зависимость свидетельствует о том, что в схеме с общей базой коэффициент усиления по току, обозначаемый буквой α, всегда меньше 1. Так происходит потому, что ток коллектора $I_к$ всегда меньше тока эмиттера $I_э$ на величину тока базы $I_б$. Типовое значение коэффициента усиления по току в схеме с общей базой равно 0,98.

КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ ПО МОЩНОСТИ

Усиление по мощности достигается во всех схемах включения транзисторов, так как изменение потребляемой мощности во входной цепи (в цепи базы или в цепи эмиттера) всегда меньше изменений мощности, выделяемой в выходной цепи (т. е. в цепи коллектора или в цепи эмиттера). Эмиттерный переход всегда смещен в прямом направлении, и, следовательно, на эмиттерном переходе падает лишь часть напряжения, приложенного к коллекторной цепи, обладающей благодаря тому, что коллекторный переход включен в обратном направлении, более высоким по сравнению с эмиттерным переходом сопротивлением. В другом варианте включения по цепи базы протекает ток, относительно небольшой по сравнению с током, протекающим по цепи коллектора.

Коэффициент усиления по мощности равен приблизительно 10 000 в схеме с общим эмиттером, 1 000 в схеме с общей базой и 200 в схеме с общим коллектором.

КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ ПО НАПРЯЖЕНИЮ

Усиление напряжения в транзисторной схеме оказывается возможным потому, что в коллекторную цепь можно включать высокоомную нагрузку. Коллекторный переход обладает высоким сопротивлением, поскольку он смещен в обратном направлении, а эмиттерный переход — малым благодаря тому, что смещен в прямом направлении. При таких условиях цепь, состоящую из последовательно включенных резистора нагрузки и коллекторного перехода, можно питать от источника с относительно высоким напряжением. В результате весьма малые изменения напряжения во входной цепи базы или эмиттера сопровождаются относительно большими изменениями падения напряжения на коллекторной нагрузке. Небольшие транзисторы позволяют усиливать напряжение входного сигнала во много раз, вплоть до 10 000.

Чаще всего используется схема включения транзисторов с общим эмиттером, поскольку именно эта схема обеспечивает получение наибольшего коэффициента усиления по мощности.

Коэффициент усиления по напряжению имеет примерно одни и те же значения как для схемы с общим эмиттером, так и для схемы с общей базой. Однако различие в значениях коэффициента усиления по мощности приводит к тому, что у схемы с общим эмиттером коэффициент усиления по току может значительно превышать 1, в то время как у схемы с общей базой коэффициент усиления по току несколько меньше 1. Хотя у схемы с общим коллектором коэффициент усиления по току имеет примерно те же значения, что и у схемы с общим эмиттером, коэффициент усиления по напряжению у схемы с общим коллектором не превышает 1.

Именно поэтому среди всех возможных схем схема с общим коллектором имеет наименьший коэффициент усиления по мощности.

Отдельные усилительные каскады соединяются между собой в общей схеме прибора таким образом, что каждый из каскадов обеспечивает именно такой сигнал, который требуется на входе последующего каскада. При расчете схем межкаскадной связи также учитывается необходимость согласования выходного сопротивления предыдущего каскада с входным сопротивлением последующего каскада.

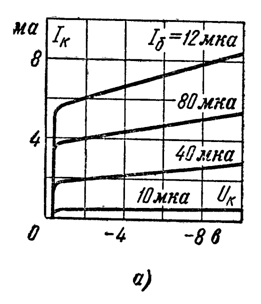
ВХОДНОЕ И ВЫХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Различные схемы включения транзисторов характеризуются не только различными значениями коэффициента усиления по мощности, но и различными входными и выходными сопротивлениями. Можно указать следующие типовые значения: для схемы с общим эмиттером входное сопротивление имеет порядок 2 000 *ом*, а выходное сопротивление 50 000 *ом*; для схемы с общей базой входное сопротивление имеет порядок 150 *ом*, а выходное 200 000 *ом*; наконец, для схемы с общим коллектором входное сопротивление имеет порядок 40 000 *ом*, а выходное 500 *ом*. Различные схемы включения транзисторов могут быть использованы как в качестве усилительных каскадов, так и в качестве каскадов, согласующих сопротивления.

В схеме с общим эмиттером входной сигнал прикладывается к базе, а выходной сигнал снимается с коллектора. В схеме с общей базой входной сигнал прикладывается к эмиттеру, а выходной сигнал снимается с коллектора. Наконец, в схеме с общим коллектором входной сигнал прикладывается к базе, а выходной сигнал снимается с эмиттера.

ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Тот факт, что коллекторная цепь имеет высокое сопротивление, может быть обнаружен также при рассмотрении выходных характеристик. Такие характеристики для случаев включения с общим эмиттером и общей базой показаны на рис. 1-16. На обоих рисунках изображены кривые зависимости коллекторного тока $I_к$ от напряжения коллектора $U_к$ для различных значений тока базы $I_б$ (рис. 1-16, *а*) и тока эмиттера $I_э$ (рис. 1-16, *б*).



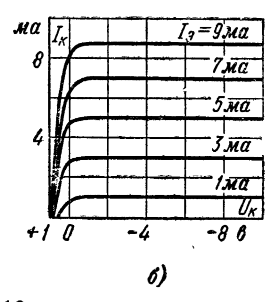


Рис. 1-16.

То, что выходное сопротивление в обеих схемах включения велико, следует из того обстоятельства, что на участках кривых, находящихся правее от точки излома, коллекторный ток почти не зависит от величины коллекторного напряжения. Напряжение, соответствующее точке излома характеристики, называется *напряжением излома*. Для напряжений, меньших напряжений излома, коллекторный ток очень быстро возрастает при увеличении коллекторного напряжения.

Мы рассмотрели большинство характеристик, которые могут понадобиться в практической работе по обнаружению неисправностей в транзисторных схемах.

ОБРАТНЫЕ ТОКИ

Простейший прибор для проверки транзисторов способен измерять коэффициент усиления либо по постоянному, либо по переменному току и обязательно обратный ток, чаще всего только в коллекторном переходе.

Уместно напомнить здесь, что обратный ток — это ток, текущий через переход, смещенный в обратном направлении, и вызываемый наличием неосновных носителей, возникающих под воздействием температуры. У хороших транзисторов при нормальной температуре окружающей среды обратный ток весьма мал.

Обратный ток, текущий между коллектором и базой, когда цепь эмиттера разомкнута, обозначается через $I_{к\,б\,о}$. Буква I обозначает здесь ток, а буквы «к» и «б» — коллектор и базу соответственно, буква «о» обозначает, что цепь третьего электрода (эмиттера) разомкнута.

По таким же точно соображениям обратный ток через эмиттерный переход обозначается через $I_{э\,б.о}$. Этот последний ток обычно весьма мал. В зависимости от температуры он составляет 3—10 *мка*.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ТРАНЗИСТОРОВ И ТРАНЗИСТОРНЫХ УСТРОЙСТВ

Кроме механических повреждений, транзисторная аппаратура чаще всего выходит из строя по двум основным причинам: отказы в транзисторах и отказы в источниках питания. Часто забывают о том, что батарея может разрядиться и, когда транзисторный прибор перестает работать, начинают искать более сложную причину отказа. А в большинстве случаев причиной отказа служит как раз батарея. Ниже мы подробно рассмотрим симптомы, указывающие на понижение напряжения питания ниже допустимого уровня.

НАДЕЖНОСТЬ ТРАНЗИСТОРОВ

Утверждение о том, что транзисторы обладают высокой надежностью, совершенно справедливо. Однако справедливым оно может считаться лишь после того, как транзисторы уже установлены в какое-либо устройство, после этого они могут эффективно работать в течение многих лет.

Наихудший период жизни для транзисторов приходится на небольшой интервал времени сразу после введения в строй нового оборудования. Именно в течение этого интервала наблюдается наибольшее число отказов. По истечении начального интервала частота отказов падает до очень низкого постоянного уровня и сохраняется на этом уровне до тех пор, пока аппаратура не начинает изнашиваться. Износ аппаратуры сопровождается новым повышением частоты отказов.

Сейчас еще практически невозможно установить точную шкалу времени для кривой отказов, поскольку отсутствуют достаточно полные статистические данные. Однако общее положение может быть проиллюстрировано кривой, показанной на рис. 2-1, где по оси времени достаточно приближенно отложены месяцы и годы.

КОНТРОЛЬ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Для проверки источников питания достаточно иметь обычный многошкальный тестер. Сначала проверяют напряжение батареи. При этом аппарат должен быть включен, т. е. батарея должна находиться под нагрузкой. Затем измеряют ток, потребляемый прибором. Для этого подходящий измеритель тока включают последовательно с источником питания. В общем виде схема включения измерителя тока показана на рис. 2-2.

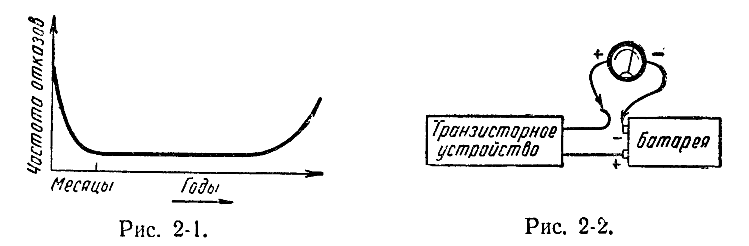


Рис. 2-1. Рис. 2-2.

Шкалу измерителя тока следует установить исходя из наибольшей ожидаемой величины тока. Только после этого можно включить прибор. Прочитав показание на шкале, надо, если это необходимо, переключить измеритель тока на более чувствительную шкалу, предварительно отключив питание прибора. Поступая таким образом, мы предотвратим порчу тестера даже в том случае, если в приборе имеется короткое замыкание.

Часто в момент включения прибора наблюдается бросок тока, объясняемый зарядом электролитических конденсаторов. Хотя на данном этапе проверки полная величина тока, потребляемая прибором, не имеет большого значения, сам факт, что прибор потребляет энергию, свидетельствует о том, что цепь питания вместе с выключателем и предохранителем не повреждена.

Перед тем как производить описанные выше действия, надо хотя бы весьма приблизительно представлять себе величину тока, потребляемого прибором. Если тестер показывает нулевую величину тока, можно сделать заключение, что цепь питания неисправна. Подобное утверждение следует из того, что даже если прибор содержит один-единственный транзистор, то в нем всегда имеются делите-

ли напряжения, по которым в любом случае должен протекать хотя бы небольшой ток.

Чрезмерно большая величина тока свидетельствует о наличии в схеме прибора коротких замыканий или утечек. Предварительный контроль источников питания позволяет нам прийти к некоторому общему заключению о причине неисправности перед тем, как извлекать прибор из корпуса. Можно обнаружить, например, что для того чтобы вернуть прибору работоспособность, достаточно сменить батарею или предохранитель или зачистить выводы, подсоединенные к батарее.

РАБОЧИЕ РЕЖИМЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ

В гл. 1 мы установили, что практически во всех транзисторных схемах необходимо создавать прямое смещение в эмиттерных переходах и обратное смещение в коллекторных переходах транзистора.

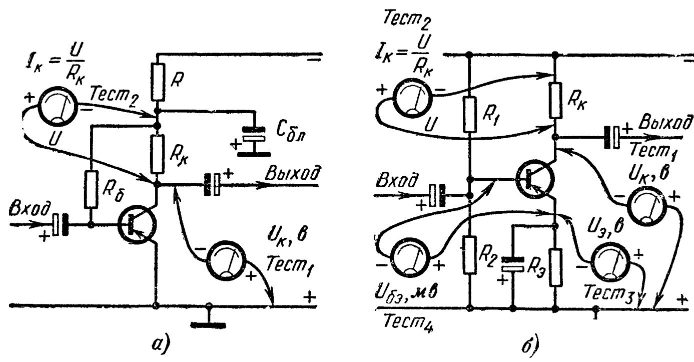


Рис. 2-3.

Смещение на базу транзистора задается либо путем включения резистора с большим сопротивлением между базой и шиной коллекторного питания, либо путем использования делителя, подключенного к источнику питания. В последнем случае база соединяется со средней точкой делителя. Две только что описанные схемы показаны на рис. 2-3. В этих схемах использованы транзисторы *р-п-р* типа, однако то же самое будет справедливо и в случае транзисторов *п-р-п* типа с тем единственным отличием, что полярность включения источника питания заменяется на противоположную.

В усилительных каскадах базовое смещение необходимо для установления рабочего значения тока коллектора. Например, в случае усилительного каскада в режиме А базовое смещение устанавливается таким образом, чтобы коллекторный ток $I_к$ мог изменяться относительно своего статического значения примерно на одну и ту же величину в обе стороны. Эти отклонения соответствуют двум полупериодам входного сигнала, подводимого к эмиттерному переходу. Если смещение слишком велико или слишком мало, форма выходного сигнала будет искажаться. Таким образом, правильная установка величины базового смещения имеет весьма важное значение.

При работе в режиме В величина базового смещения устанавли-

вается вблизи границы отсечки. В таких схемах обычно используются два транзистора, работающих таким образом, что когда коллекторный ток одного из них увеличивается в течение данного полупериода, второй транзистор полностью запирается. В течение следующего полупериода транзисторы меняются ролями. Условия, промежуточные между режимом А и режимом В, соответствуют работе транзистора в режиме АВ. Рассмотрим, каким образом в обычных усилительных схемах с помощью базового смещения устанавливается рабочее значение коллекторного тока $I_к$.

На схеме рис. 2-3, *а* цепь базового смещения состоит из одного резистора $R_б$. Ток базы $I_б$ примерно равен величине напряжения, действующего в точке *A*, поделенной на величину сопротивления резистора $R_б$. Величина тока $I_б$ в микроамперах равна величине указанного напряжения в вольтах, поделенной на величину сопротивления резистора $R_б$ в мегомах. Следовательно если напряжение равно 10 *в*, а сопротивление резистора $R_б$ равно 1 *Мом*, то ток $I_б$ равен примерно 10 *мка*.

Воспользовавшись передаточными характеристиками для данного типа транзисторов (см., например, рис. 1-15, *а*) и оценив величину тока базы $I_б$, мы можем оценить величину коллекторного тока $I_к$. Поскольку в данном случае нас интересует обнаружение неисправности, а не расчет схемы, нам нет необходимости знать точные значения величин токов. Кроме того, мы ведь знаем, что перед тем как наступил отказ, схема работала правильно, поэтому на данном этапе задача сводится к обнаружению причины отказа.

В схеме на рис 2-3, *а* роль коллекторной нагрузки играет резистор $R_к$, в то время как резистор *R* стабилизирует режим каскада по постоянному току. Заметим, что в этой схеме отсутствует резистор в цепи эмиттера. Предположим, что в результате повышения температуры коллекторный ток $I_к$ начинает возрастать. При этом возрастает и ток, текущий по резистору *R*. Падение напряжения на этом резисторе также возрастает, и это приводит к уменьшению напряжения в точке А. Отрицательное базовое смещение уменьшается, а следовательно, уменьшается также и ток $I_к$. Так осуществляется стабилизация режима по постоянному току.

Обратимся теперь к схеме, показанной на рис. 2-3, *б*. Здесь напряжение на базе устанавливается с помощью делителя, состоящего из резисторов R_1 и R_2, а также за счет падения напряжения на эмиттерном резисторе $R_э$.

В рассматриваемой схеме эмиттерный резистор $R_э$ выступает в роли стабилизирующего элемента, действие которого описано в предыдущей главе.

Резистор $R_к$ является коллекторной нагрузкой. В качестве коллекторной нагрузки может быть использована также первичная обмотка трансформатора или катушка индуктивности. Однако в случае, показанном на рис. 2-3, *б*, мы рассматриваем чисто резистивную нагрузку, как это часто имеет место в предварительных усилителях звуковых частот. Для того чтобы исключить возможность возникновения отрицательной обратной связи, резистор $R_э$ шунтируется конденсатором. Реактивное сопротивление конденсатора в рабочем диапазоне частот мало по сравнению с сопротивлением резистора $R_э$. В некоторых схемах специально вводят отрицательную обратную связь либо путем включения в эмиттерную цепь небольшого добавочного незашунтированного конденсатором резистора, либо путем полного отключения шунтирующего конденсатора. Отрицательная об-

ратная связь увеличивает входное сопротивление каскада, но уменьшает коэффициент усиления.

В схеме, показанной на рис. 2-3, *а*, отрицательная обратная связь исключается блокировочным конденсатором $C_{бл}$. Цепь, состоящую из резистора *R* и электролитического блокировочного конденсатора $C_{бл}$, обычно называют цепью развязки.

КОНДЕНСАТОРЫ СВЯЗИ ТРАНЗИСТОРНЫХ КАСКАДОВ

Относительно малые значения входных и выходных сопротивлений транзисторных каскадов требуют использования таких конденсаторов связи, реактивные сопротивления которых в диапазоне рабочих частот оказываются малыми по сравнению с этими сопротивлениями. По этим соображениям в транзисторных усилителях звуковых частот, как правило, используются электролитические конденсаторы большой емкости. В высокочастотных усилителях величина емкости конденсаторов связи может быть меньшей, поскольку на высоких частотах реактивное сопротивление даже у конденсатора сравнительно небольшой емкости оказывается достаточно малым.

Конденсаторы должны включаться в схему таким образом, чтобы постоянные напряжения на их выводах всегда имели правильную полярность. Другими словами, положительный вывод конденсатора всегда должен соединяться с точкой схемы, имеющей больший положительный потенциал, чем потенциал точки подключения отрицательного вывода. В схемах с *р-п-р* транзисторами электролитические конденсаторы межкаскадной связи подключаются отрицательным выводом к коллектору транзистора предыдущего каскада и положительным выводом к базе транзистора последующего каскада. В схемах с транзисторами *п-р-п* типа эта полярность заменяется на противоположную.

На входные конденсаторы в схемах, показанных на рис. 2-3, подобное правило не распространяется, так как здесь не предполагалось наличия предварительных каскадов и мы считали, что по постоянному току свободный вывод входного конденсатора соединяется с положительной шиной питания через источник входного сигнала. Полярность включения шунтирующих и блокировочных конденсаторов можно не обсуждать, поскольку она очевидна.

Чрезвычайно важно, чтобы при замене электролитических конденсаторов соблюдались сформулированные выше правила относительно их полярности. В противном случае могут возникнуть значительные токи утечки, которые изменят значение напряжений смещения, что в большой степени затруднит обнаружение неисправности.

АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА ТРАНЗИСТОРА

Вторым важным этапом в процессе обнаружения неисправностей является проверка условий работы транзисторов. Однако это ни в коей мере не означает, что каждый транзистор необходимо выпаивать из схемы и проверять на тестере. Выпаивание транзисторов из некоторых транзисторных приборов может быть связано с большими трудностями и делать это следует лишь после того, как получена полная уверенность в том, что данный транзистор неисправен.

Вместо того чтобы выпаивать транзистор, можно измерить напряжения и токи каскада, который находится под подозрением. Предположим, что цепи питания у нас в порядке, и начнем с того, что про-

верим напряжение на коллекторе. Эта операция на рис. 2-3 обозначена как *Тест*$_1$. Если коллекторный ток $I_к$ отличен от нуля, то на резисторах коллекторной цепи будет иметь место некоторое падение напряжения и тестер покажет величину напряжения, несколько меньшую, чем напряжение питания. Если коллекторная нагрузка представляет собой катушку индуктивности или обмотку трансформатора, то ее омическое сопротивление будет равно лишь нескольким омам. В этом случае падение напряжения в коллекторной цепи отсутствует и тестер должен показать напряжение, равное напряжению питания.

Если напряжение на коллекторе равно нулю, но при этом величина тока, потребляемого прибором, не сильно отличается от нормальной (что устанавливается при первоначальной проверке цепей питания), то имеет место разрыв в цепи коллекторной нагрузки или резистора развязки.

ПРОВЕРКА ВЕЛИЧИНЫ ТОКА БЕЗ НАРУШЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ

Если напряжение на коллекторе отлично от нуля, необходимо проверить величину тока коллектора. Очевидный способ такой проверки состоит в том, чтобы отсоединить нижний вывод резистора $R_к$ и включить миллиамперметр в образовавшийся разрыв. В схемах с печатным монтажом сделать это не очень просто, поэтому лучше измерить падение напряжения на резисторах коллекторной цепи. Тогда, зная величину падения напряжения и величину сопротивления резистора, можно подсчитать величину протекающего по нему тока.

Рассмотрим такой пример. Пусть сопротивление резистора $R_к$ равно 1 *ком* (т. е. 1 000 *ом*), а падающее на нем напряжение равно 1 *в*. На основании закона Ома мы можем подсчитать величину тока. Величина тока в миллиамперах равна измеренной величине напряжения в вольтах, поделенной на величину сопротивления в килоомах. В нашем примере ток равен 1/1, т. е. 1 *ма*.

Точность такого способа определения тока зависит от точности, с которой известно сопротивление резистора, и от точности показаний вольтметра. Она зависит также и от входного сопротивления вольтметра. Если использовать вольтметр с низким входным сопротивлением, то он будет заметно шунтировать резистор $R_к$. Иными словами, истинная величина сопротивления окажется существенно меньше исходной величины сопротивления резистора $R_к$. Однако при отыскании неисправности точность предлагаемого нами способа, как правило, оказывается достаточной. Описанная операция измерения коллекторного тока $I_к$ обозначена *Тест*$_2$ на рис. 2-3.

Если проверка показала, что коллекторное напряжение $U_к$ и коллекторный ток $I_к$ близки к нормальным значениям, можно прийти к заключению, что ток базы $I_б$ протекает и обнаруженная нами величина коллекторного тока $I_к$ объясняется нормальной работой транзистора. Однако подобное заключение может оказаться и неверным. Так будет в том случае, если измеренная нами величина коллекторного тока $I_к$ представляет собой величину тока утечки, а сам ток объясняется неисправностью транзистора.

Убедиться в том, что величина коллекторного тока $I_к$, полученная в результате измерения, определяется правильной работой транзистора и, следовательно, транзистор исправен, мы можем лишь в том случае, если слегка изменить величину базового тока $I_б$ и наблюдать

при этом соответствующие изменения коллекторного тока $I_к$ (т. е. на самом деле изменения измеряемого падения напряжения на резисторе $R_к$).

Величину базового тока $I_б$ можно изменить либо путем изменения сопротивления резистора $R_б$ в схеме, показанной на рис. 2-3, *а*, либо путем изменения сопротивления резистора R_2 в схеме, показанной на рис. 2-3, *б*. Проще всего это можно проделать, если в схеме на рис. 2-3, *а* зашунтировать резистор $R_б$ другим резистором с большим сопротивлением. Пусть, например, сопротивление резистора $R_б$ равно 470 *ком*. Тогда, если мы зашунтируем этот резистор другим резистором сопротивлением около 1 *Мом*, искомый эффект будет достигнут и в то же время ток эмиттерного перехода не увеличится сверх допустимых пределов. Если напряжение питания равно, например, 10 *в*, то, действуя указанным способом, мы увеличим базовый ток $I_б$ примерно на 10 *мка*.

В схеме, показанной на рис. 2-3, *б*, можно судить о работоспособности транзистора, если зашунтировать резистор R_2 другим резистором с сопротивлением, примерно равным сопротивлению резистора R_2. Подсоединяя параллельный резистор, мы уменьшаем величину напряжения $U_{б.э}$. Если это повлечет за собой уменьшение коллекторного тока $I_к$, значит транзистор исправен.

Если будет обнаружено, что коллекторный ток $I_к$ не изменяется при изменениях тока базы $I_б$ или напряжения $U_{б.э}$, значит транзистор неисправен. Однако не следует сразу выпаивать транзистор из схемы, чтобы проверить его на тестере или просто заменить. Перед такой радикальной операцией стоит провести еще одно или два контрольных измерения.

В схеме, подобной той, которая показана на рис. 2-3, *б*, т. е. содержащей эмиттерный резистор, напряжение $U_э$ может быть измерено так, как обозначено на этом рисунке под наименованием *Тест*$_3$. Ток эмиттера $I_э$ можно подсчитать точно так же, как ток коллектора $I_к$. Для этого измеренное напряжение делится на сопротивление эмиттерного резистора.

ЗАМЫКАНИЕ КОЛЛЕКТОРНОГО ПЕРЕХОДА

Если измерительный прибор регистрирует наличие коллекторного тока $I_к$ при отсутствии тока эмиттера, т. е. когда $I_э=0$, то можно с уверенностью считать, что произошло короткое замыкание коллекторного перехода. При таких условиях коллекторный ток не будет изменяться при изменениях тока эмиттера или напряжения $U_{б.э}$. Поскольку ток базы очень мал (всего лишь несколько микроампер), различие между токами коллектора и эмиттера может быть обнаружено при весьма точных измерениях. Предположим, что результаты измерений коллекторного и эмиттерного токов представляются нам вполне нормальными. И в то же время изменения тока базы или напряжения $U_{б.э}$ не сопровождаются соответствующими изменениями коллекторного тока. Можно проделать дополнительное измерение напряжения $U_{б.э}$ непосредственно на выводах транзистора. Такая проверка обозначена, как *Тест*$_4$ на рис. 2-3, *б*. Следует заметить, что для непосредственного измерения напряжения $U_{б.э}$ нужен очень чувствительный прибор, поскольку измеряемое напряжение равно всего лишь нескольким милливольтам.

Если в результате последнего измерения показания прибора изменяются при шунтировании резистора R_2, а ток коллектора все-таки

остается постоянным, можно делать окончательное заключение, что транзистор неисправен.

Если обнаружено отсутствие тока коллектора $I_к$ или тока эмиттера $I_э$, следует повторить измерение напряжения $U_{б.э}$. Если это напряжение также оказывается равным нулю, нужно попробовать подсоединить щупы тестера, сначала один, потом другой, не к самим выводам транзисторов, а к каким-либо другим точкам схемы, соединенным с этими выводами. При этом проверяются пайки, поскольку очень часто, особенно в печатных схемах, нарушаются контакты между пайкой и выводом транзистора. Внешне пайки, казалось бы, выглядят вполне удовлетворительно, но даже несмотря на то, что капля припоя полностью охватывает проводник, электрический контакт может оказаться плохим. Если плохой контакт имеет место в цепи базы, ток коллектора будет равен нулю.

РАЗРЫВ В ЦЕПИ КОЛЛЕКТОРНОГО ПЕРЕХОДА

Если отсутствие коллекторного тока объясняется разрывом цепи коллекторного перехода, такой разрыв можно обнаружить измеряя напряжение на эмиттере (*Тест*$_3$) на рис. 2-3, *б*. Если коллекторная цепь разорвана, вольтметр покажет лишь очень небольшое напряжение на эмиттерном резисторе, вызываемое протеканием только тока базы.

Все четыре описанных выше измерения дают достаточно много информации относительно статического режима транзистора в данной схеме. Во всяком случае, эти измерения позволяют решить вопрос о необходимости выпаивания транзистора из схемы либо для его замены, либо для более тщательной проверки.

Скажем еще несколько слов о мерах предосторожности, которые необходимо соблюдать при работе с транзисторами, особенно маломощными. Транзисторы плохо переносят резкие скачки значений токов и напряжений. Если ток или напряжение превышают номинальные значения даже в течение весьма небольшого промежутка времени, это все равно может привести к разрушению базового или коллекторного перехода или же к значительному изменению характеристик транзистора.

Подобные резкие увеличения токов или напряжений могут возникнуть в момент подключения контрольных приборов, если используемые при этом щупы недостаточно хорошо изолированы. Иногда небольшая утечка между элементом схемы и паяльником вызывает скачок тока, разрушающий эмиттерный переход. Обычно именно эмиттерный переход оказывается самым слабым местом транзистора. Избежать появления подобных токов утечки можно, если хорошо заземлить паяльник.

Транзистор можно разрушить также при подсоединении щупов включенного лампового вольтметра. Поэтому сначала лучше подсоединять прибор к соответствующим точкам схемы и лишь после этого включать питание как измерительного прибора, так и испытуемой схемы. Генераторы сигналов и другие приборы, питаемые от сети, следует подсоединять к схеме через конденсаторы. Конденсаторы должны включаться в оба вывода прибора, а емкости этих конденсаторов должны выбираться минимальными.

Скачки напряжений и токов возникают также при отсоединении транзисторов и других деталей от схемы, находящейся под напряжением. Поэтому во всех случаях следует сначала обесточить схему и лишь после этого отпаивать или припаивать какие-либо детали.

РАЗРЫВ В ЦЕПИ ЭМИТТЕРНОГО ПЕРЕХОДА

Если эмиттерный переход транзистора разрушен, ток в цепи этого перехода равен нулю, а ток коллектора очень невелик и равен току утечки.

Резкие скачки напряжений или токов вызывают также полное или частичное замыкание перехода. Если замкнутым оказывается, например, коллекторный переход, то текущий через него ток превышает нормальный и не изменяется при изменении тока базы или напряжения $U_{б.э}$.

Полное или частичное замыкание эмиттерного перехода сопровождается увеличением сверх нормальных значений эмиттерного тока. Коллекторный ток при этом равен току утечки.

В отдельных случаях транзистор может быть разрушен в результате неправильно выполненных измерений. Нужно взять за правило всегда испытывать транзистор при минимально возможных для данного прибора значениях тока и напряжения, саму проверку проводить как можно скорее и немедленно отключать прибор, если его показания начинают возрастать.

ПАРАЗИТНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ

Транзисторы, предназначенные для работы в устройствах СВЧ и УВЧ, могут самовозбуждаться в процессе проверки их на некоторых испытательных приборах. Если испытательный прибор показывает очень большое значение коэффициента усиления и его показания уменьшаются, когда к коллекторному выводу транзистора прикасаются пальцем или отверткой, значит имеет место самовозбуждение. Паразитная генерация возникает чаще всего, когда транзистор подсоединяется к измерительному прибору с помощью длинных проводников. При проверке высокочастотных транзисторов их выводы должны соединяться непосредственно с зажимами прибора. Если несмотря на это транзистор все же возбуждается, можно попробовать надеть на его выводы несколько кольцевых ферритовых сердечников. Такие сердечники увеличивают индуктивность выводов, что ухудшает условия самовозбуждения.

Паразитная генерация не только искажает результаты измерений. В определенных условиях она может повлечь за собой разрушение транзистора, поскольку при генерации коллекторный и эмиттерный токи могут превысить допустимые значения.

МНОГОКАСКАДНЫЕ СХЕМЫ

Узлы транзисторных приборов обычно состоят из нескольких каскадов. Транзисторный радиоприемник, например, состоит по меньшей мере из шести каскадов, связанных между собой с помощью трансформаторов или емкостных цепей связи. Типовыми каскадами транзисторного радиоприемника являются: 1) смеситель, 2) первый каскад усиления промежуточной частоты УПЧ, 3) второй каскад УПЧ, 4) детектор, 5) предварительный каскад усиления низкой частоты, 6) оконечный каскад.

Хотя каждый из этих каскадов можно исследовать уже описанным выше способом, нужно при этом иметь в виду, что неисправности в цепях межкаскадных связей могут повлечь за собой неправильную работу каскадов, связанных этой цепью. Например, на рис. 2-4

показана схема двухкаскадного микрофонного усилителя с емкостной межкаскадной связью. Транзисторы T_1 и T_2 работают в качестве усилительных каскадов в режиме А. Сигнал с коллектора транзистора T_1 передается на базу транзистора T_2 через электролитический конденсатор емкостью 8 *мкф* и переменный резистор — регулятор громкости. Таким образом, амплитуда сигнала, действующего на базе транзистора T_2, зависит от положения движка регулятора громкости. Подобный метод регулирования громкости используется в большинстве транзисторных усилителей.

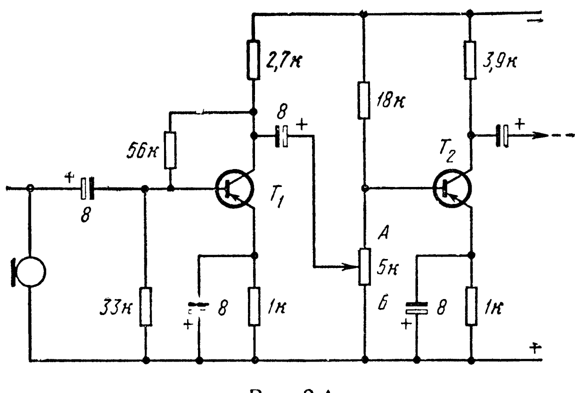


Рис. 2-4.

Предположим теперь, что в конденсаторе связи имеется утечка. Тогда, исследуя работу каскада, собранного на транзисторе T_2, мы обнаружим превышение нормальной величины коллекторного тока $I_к$. Кроме того, коллекторный ток второго каскада будет изменяться при вращении ручки регулятора громкости. Это происходит потому, что утечка в конденсаторе вызывает появление дополнительного базового тока транзистора T_2. Иными словами, часть коллекторного тока транзистора T_1 ответвляется в цепь базы транзистора T_2. Величина этой дополнительной составляющей базового тока зависит от установки регулятора громкости. Если ручка регулятора громкости поставлена в нижнее по схеме положение, то его движок оказывается замкнутым с выводом, соединенным с положительным полюсом источника питания, и дополнительная составляющая тока базы при этом равна нулю.

Анализируя работу каскада, собранного на транзисторе T_1, при условии, что в конденсаторе связи имеется утечка, мы также обнаружим превышение нормальной величины коллекторного тока $I_к$. Это объясняется тем, что через нагрузочный резистор первого каскада сопротивлением 2,7 *ком*, кроме коллекторного тока транзистора, будет протекать также и ток утечки. Однако в данном случае, установив ручку регулятора громкости в нижнее положение, будем наблюдать увеличение измеряемой величины коллекторного тока. Наличие тока утечки в конденсаторе связи приводит к изменению базового смещения транзистора второго каскада. Подобную неисправность можно довольно легко обнаружить, поскольку звук в громкоговорителе или в наушниках будет искажен, а при повороте ручки регулятора громкости прослушиваются шумы.

ПРОВЕРКА УТЕЧКИ В ЦЕПЯХ СВЯЗИ

Хороший способ проверки наличия утечки в конденсаторах связи состоит в следующем. Измерительный прибор подсоединяется таким образом, чтобы он позволял измерять коллекторный ток транзистора каскада, ко входу которого подключена цепь связи (например, транзистора T_2 на рис. 2-4). Затем один из выводов конденсатора связи отсоединяют от схемы и наблюдают, не изменяется ли при этом коллекторный ток. При таких измерениях следует иметь в виду, что в моменты подключения и отключения конденсатора связи возникают скачки тока из-за заряда и разряда конденсатора. Если при подключении и отключении конденсатора связи коллекторный ток изменяется, это однозначно свидетельствует о наличии утечки в конденсаторе.

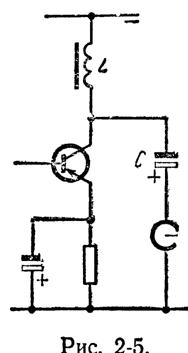


Рис. 2-5.

Утечка в микрофонном конденсаторе связи (рис. 2-4) сопровождается изменением базового смещения транзистора T_1. Если утечка достаточно велика, то резистор сопротивлением 33 *ком*, представляющий собой одно из плеч делителя напряжения, практически окажется замкнутым накоротко, поскольку сопротивление микрофона постоянному току обычно невелико. В таких условиях каскад окажется полностью запертым.

Если вместо микрофона на вход усилителя подключена головка воспроизведения (в магнитофоне), то протекающий по обмотке этой головки ток утечки намагничивает ее сердечник, в результате чего возрастают шумы. Все сказанное справедливо лишь для случая, когда магнитофон работает в режиме воспроизведения.

В режиме записи головка может подключаться к оконечному каскаду усилителя через индуктивно-емкостную цепь связи, как показано на рис. 2-5. Большая утечка в конденсаторе *C* приведет к тому, что через обмотку головки начнет протекать очень большой постоянный ток и запись при этом будет сильно искажена.

СХЕМЫ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМИ СВЯЗЯМИ

Существуют схемы, в которых не используются конденсаторы связи. Каскады здесь соединяются один с другим непосредственно. Типовая схема с непосредственной связью показана на рис. 2-6. Здесь базовое смещение транзистора T_2 получается от делителя, в верхнем плече которого включен нагрузочный резистор транзистора T_1, а в нижнем плече — резистор сопротивлением 8,2 *ком*. Сопротивления коллекторного и базового резисторов подбираются очень тщательно. Нельзя попросту отключить конденсатор связи и замкнуть точки его подсоединения накоротко. Непосредственная связь может быть осуществлена лишь в результате правильного расчета сопротивлений соответствующих резисторов.

Стабилизация работы каскада осуществляется с помощью резисторов, включенных в цепи эмиттеров. В двухтактных оконечных каскадах обычно принимаются дополнительные меры для балансировки базовых токов.

Схема трехкаскадного усилителя с непосредственными связями, в которой стабилизация осуществляется с помощью цепи отрицательной обратной связи одновременно по переменному и постоянному токам, показана на рис. 2-7. Правильные режимы работы транзисторов по постоянному току устанавливаются соответствующим выбором величин сопротивлений коллекторных нагрузок и напряжения источника питания. Цепь обратной связи охватывает весь усилитель от коллектора транзистора T_3 до базы транзистора T_1.

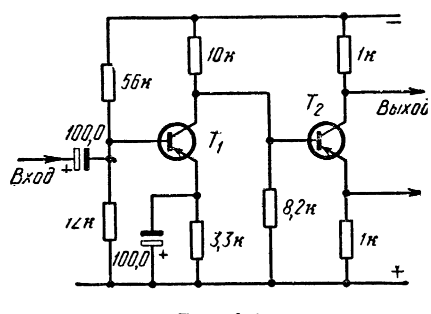


Рис. 2-6.

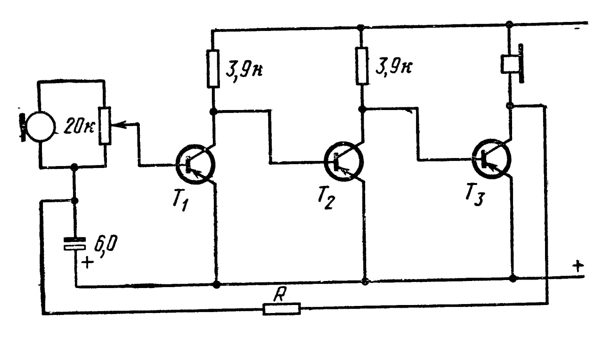


Рис. 2-7.

Усилители такого типа чаще используются в качестве микрофонных усилителей. Для снижения уровня шумов устанавливаются минимально возможные значения коллекторных токов, а цепь обратной связи стабилизирует режимы по постоянному току. Коэффициент обратной связи устанавливается соответствующим выбором сопротивления последовательного резистора R.

Рассмотрим в качестве примера практическую схему усилителя низкой частоты с непосредственными связями, показанную на рис. 2-8. В этой схеме используются транзисторы *p-n-p* и *n-p-n* типов. В двухтактном оконечном каскаде один из транзисторов относится к *p-n-p* типу, а второй — к *n-p-n*. Подобная пара транзисторов получила название *дополнительной пары*.

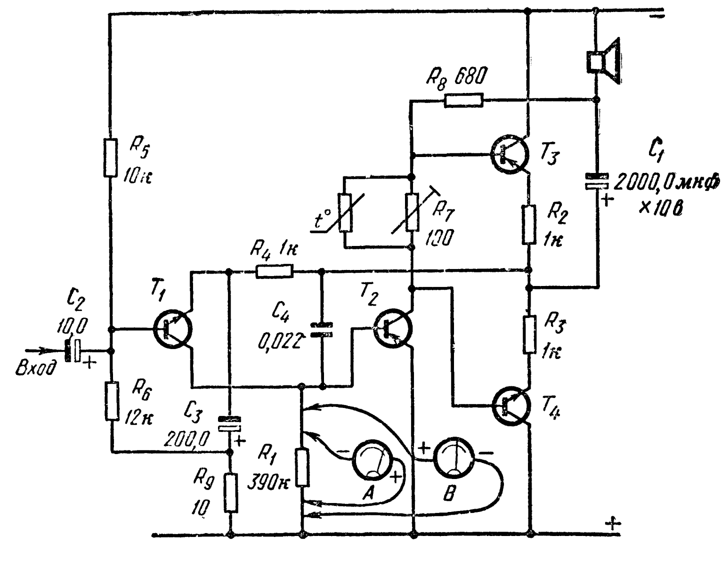


Рис. 2-8.

Кроме дополнительной пары транзисторов T_3 и T_4, в схеме, показанной на рис. 2-8, имеется каскад предварительного усиления, выполненный на транзисторе типа *n-p-n* (транзистор T_1), и предоконечный каскад, выполненный на транзисторе типа *p-n-p* (транзистор T_2).

СТАТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ СХЕМ

В схеме, показанной на рис. 2-8, по постоянному току транзисторы оконечной дополнительной пары T_3 и T_4 соединены последовательно. Транзисторы этого каскада работают в режиме АВ. Это означает, что на базе транзистора T_3 должно действовать относительно эмиттера этого транзистора небольшое отрицательное напряжение. Аналогичным образом на базе транзистора T_4 должно действовать относительно эмиттера этого транзистора небольшое положительное напряжение. Данные условия необходимы для того, чтобы по эмиттерным переходам обоих транзисторов в отсутствие входного сигнала протекали небольшие токи в прямом направлении.

Описанные требования к базовым смещениям транзисторов оконечного каскада удовлетворяются соответствующим выбором схемы предоконечного каскада, собранного на транзисторе T_2. На рис. 2-9 показана упрощенная схема предоконечного и оконечного каскадов. На рисунке показаны также напряжения, действующие в различных точках схемы. Хотя подобная схема и не является типовой, она позволяет понять, каким образом удовлетворяются сформулированные выше условия. Заметим, что все показанные на схеме напряжения отсчитываются от отрицательного полюса источника питания.

Из рис. 2-9 видно, что на базе транзистора T_2 относительно эмиттера этого транзистора действует отрицательное напряжение, равное

0,3 *в*. Поскольку в схеме используются непосредственные связи, на базе транзистора T_3 напряжение равно 4,4 *в*, в то время как на эмиттере этого транзистора напряжение равно 4,5 *в*. Это означает, что потенциал базы транзистора T_3 отрицателен по отношению к его эмиттеру и равен 0,1 *в*. В таких условиях транзистор T_3 пропускает лишь небольшой коллекторный ток.

Благодаря наличию резистора R_5 напряжение на базе транзистора T_4 равно 4,6 *в*, в то время как на его эмиттере напряжение равно

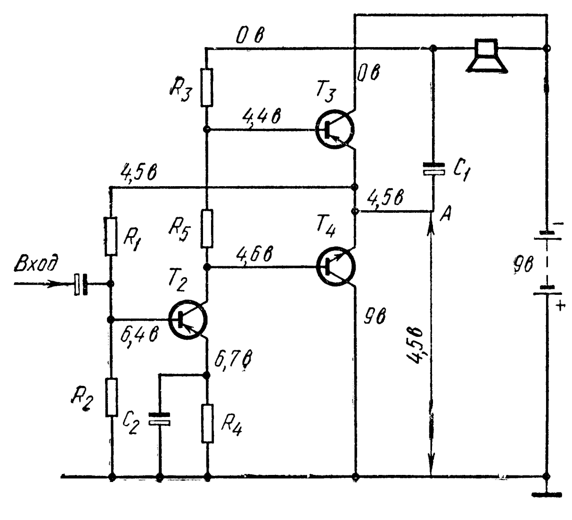


Рис. 2-9.

4,5 *в*. Это означает, что потенциал базы транзистора T_4 положителен относительно эмиттера этого транзистора и равен 0,1 *в*. Транзистор T_4 также пропускает лишь небольшой коллекторный ток.

Сопротивление резистора смещения R_5 выбирается таким образом, чтобы установить правильный режим по постоянному току транзисторов оконечного каскада. На практике схема рассчитывается таким образом, чтобы напряжение в точке *A* было немного больше чем половина напряжения источника питания. Если этого не сделать, то максимальное положительное отклонение напряжения при наличии сигнала будет меньше, чем максимальное отрицательное отклонение по причине падения напряжения на резисторе R_3 (см. рис. 2-8) плюс остаточное напряжение на транзисторе T_2.

Вернемся теперь к практической схеме усилителя, показанной на рис. 2-8. Мы видим, что здесь вместо единственного резистора смещения R_5, как это сделано в схеме, показанной на рис. 2-9, используется переменный резистор R_7, зашунтированный терморезистором. Если бы такая схема отсутствовала, то увеличение тока оконечного каскада при повышении температуры и уменьшение этого тока при низких температурах привело бы к появлению существенных искажений.

Особенно опасно здесь уменьшение температуры. Действительно, уменьшение температуры в сочетании с действием резисторов R_2 и R_3

величиной 1 *ом* приводит к тому, что транзисторы выходного каскада полностью запираются. Этому препятствует терморезистор, так как при уменьшении температуры его сопротивление увеличивается. Это приводит к тому, что напряжение на базе транзистора T_3 становится менее положительным, а напряжение на базе транзистора T_4 становится более положительным. Коллекторные токи транзисторов оконечного каскада увеличиваются, и искажения, связанные с запиранием этих транзисторов, не возникают. Подробнее вопрос об искажениях будет рассмотрен в гл. 4.

В схеме, показанной на рис. 2-8, имеются дополнительные средства стабилизации. Рассмотрим путь тока от точки соединения резисторов R_2 и R_3 к эмиттеру транзистора T_1. Можно считать, что транзистор T_1 работает в режиме усиления постоянного тока. Входным сигналом такого усилителя является разность между напряжением в точке соединения резисторов R_2 и R_3 и напряжением на базе транзистора T_1. Поскольку общий коэффициент усиления усилителя имеет достаточно большое значение, напряжение в точке соединения резисторов R_2 и R_3 фиксируются относительно напряжения базы транзистора T_1. Это снижает влияние изменения параметров транзисторов и других элементов схемы. Благодаря наличию связи по переменному току, осуществляемой конденсатором C_1, напряжение сигнала, падающее на резисторе коллекторной нагрузки транзистора T_2 (резистор R_8), оказывается приложенным между базами транзисторов выходного каскада.

РАБОТА В ДВУХТАКТНОМ РЕЖИМЕ

Другая интересная особенность схем, использующих дополнительную пару транзисторов, состоит в полном отсутствии трансформаторов. В схеме, показанной на рис. 2-8, громкоговоритель подключается через конденсатор C_1. Несмотря на то что сигнал на базы обоих транзисторов выходного каскада поступает с одной и той же точки (с коллектора транзистора предоконечного каскада T_2), выходной каскад все же работает в двухтактном режиме. Так происходит потому, что в течение положительного полупериода проводит транзистор *n-p-n* типа и запирается транзистор *p-n-p* типа, в течение отрицательного полупериода — наоборот. Более подробно условия преобразования сигналов в усилителях низкой частоты будут описаны в гл. 4.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕСТЕРА

Если в вашем распоряжении нет тестера с высоким внутренним сопротивлением порядка 20 000 *ом/в* или даже 100 000 *ом/в*, можно пользоваться тестером с внутренним сопротивлением 10 000 *ом/в*, но ни в коем случае не меньше. Это объясняется тем, что при измерениях в транзисторных схемах часто приходится пользоваться шкалой, у которой полное отклонение стрелки соответствует 1 *в*. У многошкальных тестеров это обычно самая чувствительная шкала и, следовательно, полное сопротивление между зажимами тестера оказывается равным в этом случае величине удельного внутреннего сопротивления, измеряемого в омах на вольт.

При обнаружении неисправности внутреннее сопротивление тестера может быть использовано для шунтирования резисторов схемы.

Возвращаясь, например, к схеме, показанной на рис. 2-3, можно отметить, что подсоединение щупов вольтметра к выводам резистора R_2 повлечет за собой небольшое изменение напряжения $U_{б.э}$ и, следовательно, изменение коллекторного тока, что и требуется для проверки. Аналогичный эффект будет достигнут, если подсоединять вольтметр параллельно резистору $R_б$ в схеме, показанной на рис. 2-3, *а*. Однако тестер следует переключить на более высоковольтную шкалу, так как в противном случае изменение базового тока может оказаться чрезмерно большим. Внутреннее сопротивление любого вольтметра равно удельному внутреннему сопротивлению в омах на вольт, умноженному на величину максимального напряжения той шкалы, на которой включен вольтметр. Например если тестер имеет удельное внутреннее сопротивление 20 000 *ом/в* и он включен на шкалу 10 *в*, то сопротивление между зажимами тестера равно 200 *ком*. Если же тестер имеет удельное внутреннее сопротивление 10 000 *ом/в*, то на шкале 5 *в* его сопротивление равно 50 *ком*.

При пользовании тестером нужно также проявлять осторожность и не подключать щупы к точкам схемы, напряжение между которыми может превышать установленный предел измерения. Щупы следует подсоединять с учетом правильной полярности, чтобы стрелка не отклонялась в противоположном направлении. В противном случае, когда стрелка задерживается упором, трудно судить о том, до какой степени перегружен прибор.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОММЕТРА

Омметр многошкального тестера также может быть с успехом использован для пассивной проверки схемы. Пассивной называется всякая проверка, которая проводится, когда схема отключена от источника питания. Даже без отпайки транзистора от схемы часто удается проверить работоспособность коллекторного и эмиттерного переходов. Типовая схема омметра показана на рис. 2-10. Когда щупы замкнуты между собой, напряжение батареи и величина сопротивления резистора установки шкалы выбираются таким образом, чтобы стрелка прибора отклонялась на полную шкалу. Шкала проградуирована в омах, и полное отклонение стрелки соответствует точке с пометкой 0 *ом*. Ручка *Уст. 0* позволяет установить стрелку в точности на эту пометку. Когда к выводу прибора подсоединяется резистор с неизвестным сопротивлением, схема перестает быть короткозамкнутой, ток уменьшается и стрелка отклоняется на некоторый угол. Степень отклонения стрелки зависит от сопротивления измеряемого резистора. Эту величину можно прочесть непосредственно на шкале.

Ясно, что когда омметр подключается к транзисторному переходу, показание омметра соответствует величине прямого или обратного тока в зависимости от того, каким именно образом щупы прибора подсоединяются к выводам транзистора.

На рис. 2-11 показаны все возможные случаи включения омметров и указаны также полярности. Здесь предполагается, что пометки на выводах соответствуют истинной полярности батареи, включенной в схему прибора. Если это на самом деле так, то применительно к рис. 2-11 можно утверждать следующее.

Включение прибора, помеченное на рис. 2-11 цифрой *1*, обеспечивает протекание прямого тока через эмиттерный переход. Включение, помеченное цифрой *2*, обеспечивает протекание обратного тока

через эмиттерный переход. Включение *3* обеспечивает протекание прямого, а включение *4* — обратного тока через коллекторный переход. Включая прибор так, как помечено цифрами *5* и *6* на рис. 2-11, мы измеряем большое сопротивление между коллектором и эмиттером. Каждый раз, когда протекает прямой ток, омметр должен показывать небольшую величину сопротивления, а при протекании обратного тока измеряемая величина сопротивления должна быть большой. Следует заметить, однако, что у некоторых тестеров установка шкалы «единицы ом» сопровождается подключением щупа с пометкой «+» к отрицательному полюсу батареи, а щупа с пометкой «—» к положительному полюсу батареи.

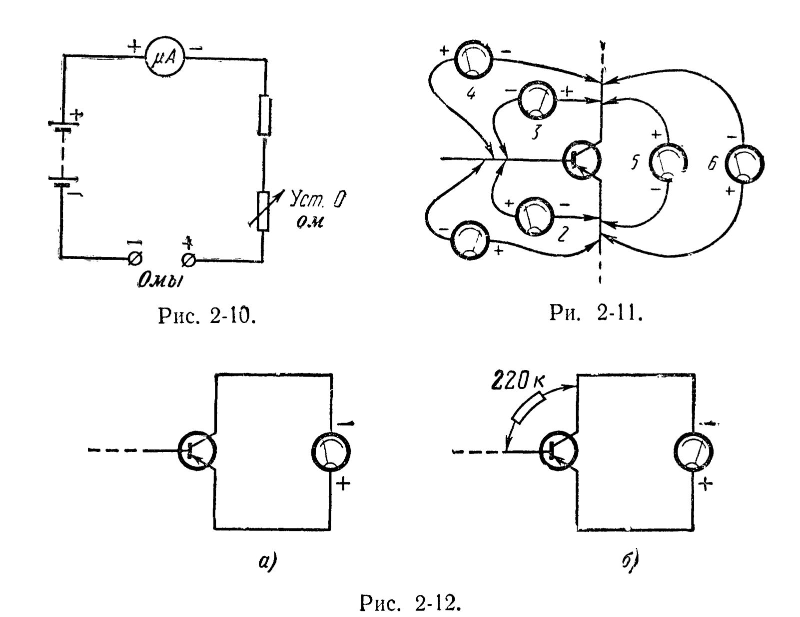


Рис. 2-10.

Ри. 2-11.

Рис. 2-12.

Если омметр включен так, как помечено цифрой *6* на рис. 2-11, то он покажет высокую величину сопротивления. То же самое включение прибора повторено на рис. 2-12, *а*. В случае, показанном на рис. 2-12, *б*, между коллектором, соединенным с отрицательным зажимом прибора, и базой включен резистор сопротивлением 220 *ком*. При этом небольшой прямой ток от батареи омметра начинает протекать по эмиттерному переходу и, если транзистор в порядке, стрелка омметра должна отклониться в сторону меньших значений сопротивления.

Проверку переходов можно производить, как это было описано выше, и у транзисторов, установленных в аппаратуре. Однако при этом следует иметь в виду, что резисторы в схеме шунтируют выводы прибора. Аналогичным образом, если делается попытка измерить сопротивления резисторов, запаянных в транзисторную схему, следует

принимать в расчет прямые и обратные токи, которые при этом будут протекать через переходы транзисторов.

В качестве типового примера рассмотрим, что произойдет, если мы попробуем измерить сопротивление резистора R_1 в схеме (рис. 2-8). Включая прибор так, как помечено буквой A, мы измерим сопротивление резистора R_1, зашунтированного эмиттерным переходом транзистора T_2, который в данном случае окажется смещенным в прямом направлении. В результате прибор покажет величину сопротивления, много меньшую, чем истинное сопротивление резистора. Наоборот, включение прибора так, как помечено буквой B, приводит к смещению перехода транзистора в обратном направлении. Сопротивление перехода, смещенного в обратном направлении, весьма велико, и в данном случае показание прибора будет соответствовать близкой к истинной величине сопротивления резистора.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

РЕЖИМЫ ПРОХОЖДЕНИЯ СИГНАЛОВ И ИХ КОНТРОЛЬ

В предыдущей главе мы описывали в основном методы контроля постоянных напряжений и токов в транзисторных цепях. Было показано, что таким образом оказывается возможным установить рабочие режимы транзисторов. В свою очередь цель установки рабочих режимов состоит в том, чтобы создать наилучшие условия прохождения сигналов переменного тока через устройство.

Поскольку транзистор — прибор, управляемый током, то и входные сигналы транзисторных устройств представляют собой электрические токи. В случае простого усилительного каскада с транзистором, включенным по схеме с общим эмиттером, ток сигнала, подлежащего усилению, поступает к транзистору совместно с постоянным током базы. То, что мы уже знаем о транзисторах, позволяет нам сделать вывод, что ток в коллекторной цепи такого каскада будет представлять собой ток базы, увеличенный в В раз.

В течение положительного полупериода действие входного сигнала сводится к тому, что ток коллектора уменьшается относительно своего статического значения в *р-п-р* транзисторах. В течение отрицательного полупериода коллекторный ток увеличивается относительно своего статического значения. В *п-р-п* транзисторе все происходит наоборот

Итак, влияние входного сигнала сводится к уменьшению или увеличению базового тока. Статическое значение коллекторного тока задается при установке режимов по постоянному току.

ОГРАНИЧЕНИЕ И ОТСЕЧКА

Предположим, что величина базового смещения выбрана недостаточно большой и в результате этого статическое значение коллекторного тока $I_к$ очень мало. Если на вход транзистора типа *р-п-р* поступает симметричный сигнал, представляющий собой синусоидально изменяющийся ток, то в течение положительного полупериода транзистор будет запираться, т. е. ток коллектора станет равным нулю.

С другой стороны, в течение отрицательного полупериода схема будет работать нормально в тех пределах, которые обеспечиваются параметрами транзистора. Если амплитуда входного сигнала является максимальной для данной схемы, то подобное явление, получившее название *отсечки,* приведет к появлению очень больших искажений.

Если же базовое смещение слишком велико, то в течение отрицательных полупериодов входного сигнала транзистор будет переходить в насыщение, а в течение положительных полупериодов схема будет работать нормально. Подобное явление получило название *ограничения.* Ограничение будет полным, если базовый ток настолько велик, что его дальнейшее увеличение уже не влечет за собой изменения коллекторного тока.

Из сказанного ясно, что режим по постоянному току должен устанавливаться таким образом, чтобы нормальная работа транзистора обеспечивалась в течение обоих полупериодов входного сигнала. Однако даже если первоначально режим по постоянному току был установлен правильно, изменение параметров деталей может привести к изменению этого режима и вызвать искажения. Подробнее этот вопрос будет рассмотрен в последующих главах.

Выше было показано, что коллекторный ток $I_к$ представляет собой сумму составляющей коллекторного тока, вызываемого нормальной работой транзистора, и тока утечки. Если температура транзистора повышается сверх допустимых значений, то ток утечки увеличивается и суммарный ток коллектора $I_к$ также оказывается больше своего нормального статического значения. В таких условиях усилительный каскад переходит в режим ограничения при меньших амплитудах входного сигнала, чем такой же точно каскад, работающий при нормальной температуре.

Наоборот, при слишком низкой температуре каскад может перейти в режим отсечки. Подобные явления иногда могут оказаться причиной плохой работы транзисторных радиоприемников, если температура внешней среды слишком велика или слишком мала. Существуют специальные средства, позволяющие стабилизировать рабочие условия в достаточно широком диапазоне изменения температуры. Эти средства будут описаны в гл. 4.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОХОЖДЕНИЕ СИГНАЛА

Когда на вход транзисторного каскада подан сигнал, начинают оказывать свое влияние реактивные сопротивления и внутренние сопротивления элементов схемы. Степень влияния этих факторов на коэффициент усиления каскада зависит, очевидно, от типа транзистора. В гл. 1 мы рассмотрели специальные требования, предъявляемые транзисторам, работающим в устройствах СВЧ и УВЧ. Частотные ограничения, вносимые транзисторами, выражаются в общем случае через *граничную частоту* транзистора $f_В$. Граничной называется частота, при которой коэффициент В оказывается равным 1.

С практической точки зрения нет никакого смысла заменять УВЧ транзистор транзистором, у которого параметр $f_В$ равен, например, 100 *Мгц*, поскольку в результате такой замены коэффициент усиления каскада, работающего в диапазоне УВЧ, станет намного меньше 1. С другой стороны, нет никакого смысла включать УВЧ-транзистор в схему, рассчитанную на работу с транзистором, величина параметра $f_В$ которого равна, скажем, 20 *Мгц* или меньше. Подобная замена соз-

дает лишь дополнительные трудности при стабилизации режима каскада.

ВИДЫ СИГНАЛОВ

Занимаясь проверкой сигналов в транзисторных каскадах, мы будем сталкиваться с сигналами низкой (звуковой) частоты, видеосигналами, сигналами высокой и промежуточной частоты. В дальнейшем для этих сигналов мы введем сокращения НЧ, ВС, ВЧ и ПЧ соответственно. Сигналы ВЧ и ПЧ могут быть как немодулированными, так и модулированными. Частоты этих сигналов могут быть за ключены в пределах диапазонов малых частот (от 30 до 300 *кгц*), средних частот (от 300 *кгц* до 3 *Мгц*), высоких частот (от 3 до 30 *Мгц*), ультравысоких частот (от 30 до 300 *Мгц*) и сверхвысоких частот (от 300 до 3 000 *Мгц*). К моменту написания этой книги еще не были разработаны транзисторы, удовлетворительно работающие при частотах, превышающих пределы, установленные для диапазона СВЧ.

Частототы НЧ-сигналов могут быть заключены в пределах от 0 до 20 *кгц*, а частотные составляющие видеосигналов — в пределах от 0 до 6 *Мгц*. Некоторые сигналы могут представлять собой синусоидальные колебания, в то время как другие сигналы могут быть импульсными (прямоугольными, треугольными и т. п.). Приборы, которые будут рассмотрены ниже, могут иметь целью как усиление, так и генерацию подобных сигналов.

Обычный транзисторный приемник содержит усилители ВЧ-, ПЧ- и НЧ-сигналов, а также гетеродин, представляющий собой местный генератор синусоидальных колебаний.

Телевизор в дополнение к перечисленному содержит генераторы пилообразных колебаний в схемах развертки и импульсные схемы в блоке синхронизации. В транзисторном магнитофоне имеются усилители НЧ, а также генератор синусоидального напряжения малой частоты для создания подмагничивания в записывающей головке.

В радиоприемниках и телевизорах имеются также схемы детекторов, выделяющих модулирующий сигнал, который накладывается на несущую частоту в процессе передачи. В транзисторных приемниках детектор обычно выполняется на германиевом или кремниевом диоде.

Таким образом, приступая к проверке сигналов, мы в первую очередь должны определить, с каким процессом мы имеем дело — генерацией или усилением. Кроме того, нужно хорошо представлять себе диапазон частот, на который рассчитан проверяемый блок. Схемы генераторов сигналов будут описаны в гл. 6.

КОНТРОЛЬ ЗА ПРОХОЖДЕНИЕМ СИГНАЛОВ

Обнаружение неисправностей в схемах транзисторных усилителей облегчается тем обстоятельством, что обычно прибор, частью которого является проверяемый усилитель, содержит в своем составе различные индикаторы (оптический индикатор настройки, индикатор уровня, громкоговоритель, наушники, реле или электроннолучевая трубка).

Часто оказывается достаточным подать контрольный сигнал нужной частоты на вход проверяемого узла и использовать один из перечисленных индикаторов для обнаружения выходного сигнала. Если те или иные указания на наличие выходного сигнала отсутствуют и

мы уверены, что соответствующий детектор или индикатор в порядке, сразу становится ясно, что имеется неисправность в одном из каскадов, расположенных между точкой подачи сигнала и индикатором.

В качестве простого примера рассмотрим двухкаскадный усилитель низкой частоты. В качестве контрольного сигнала здесь должен быть использован сигнал НЧ. Такой сигнал прежде всего следует подать на громкоговоритель и увеличивать амплитуду до тех пор, пока не будет услышан звук.

Таким образом мы убедимся, что наш индикатор (в данном случае громкоговоритель) работоспособен.

Затем источник сигнала следует отключить от громкоговорителя и подсоединить ко входу оконечного усилительного каскада (т. е. каскада, питающего громкоговоритель). Если этот каскад работает нормально, для получения той же самой громкости звука на вход каскада достаточно подать сигнал значительно меньшего уровня. Если же звук не прослушивается, ясно, что поврежден именно оконечный каскад усилителя.

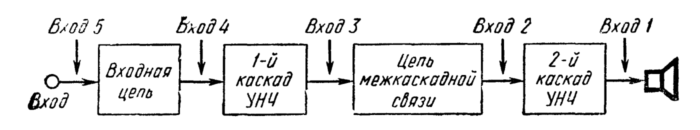


Рис. 3-1.

Если оконечный каскад усилителя работает нормально, источник сигнала следует переключить на вход предварительного каскада. Если этот каскад в порядке, снова для получения той же громкости звука будет достаточно значительно меньшего уровня входного сигнала, чем в предыдущем случае, и значит, неисправность кроется где-то между входными зажимами, к которым обычно прикладывается входной сигнал, и электродом транзистора предварительного каскада. Если этот транзистор включен по схеме с общим эмиттером, то таким электродом очевидно является база.

На рис. 3-1 показана блок-схема двухкаскадного усилителя НЧ, на которой отмечены различные точки подачи контрольного сигнала. Те же самые методы могут быть использованы и для проверки значительно более сложной аппаратуры, если только она содержит встроенный индикатор одного из возможных типов. В случае видеоканала телевизора, например, таким индикатором будет служить электроннолучевая трубка. При подаче контрольного видеосигнала на экране трубки должны возникнуть полосы, точно так же как в громкоговорителе возникает звук.

Подробнее о проверке телевизионных устройств будет сказано в гл. 4.

Если требуется проверить усилитель или его часть, не содержащую встроенных индикаторов, необходимо воспользоваться либо прибором, с помощью которого можно измерять сигналы, либо другими узлами или блоками того же самого устройства.

Возьмем в качестве примера антенный телевизионный усилитель. Это может быть усилитель СВЧ, используемый для предварительного усиления сигналов одной из телевизонных программ. Для проверки такого устройства в общем случае необходим генератор СВЧ-сигналов и детектор СВЧ-сигналов. В качестве генератора может быть использован обычный генератор стандартных сигналов (если в вашем распоряжении нет генератора СВЧ, можно использовать третью или четвертую гармонику сигнала, вырабатываемого генератором УВЧ, или же, наконец, сигнал непосредственно с телевизионной антенны). В качестве индикатора должен быть использован измеритель уровня сигнала, способный работать в диапазоне СВЧ.

Последовательность контрольных операций начинается с измерения уровня СВЧ-сигнала, подаваемого на вход усилителя, а затем уже измеряется сигнал на выходе усилителя.

Если в качестве источника сигнала используется антенна, а в качестве индикатора — телевизионный приемник, то усилитель включается между антенной и входом приемника. Включение такого усилителя используется для улучшения контрастности изображения. Однако на практике увеличения контрастности или громкости звука можно и не заметить. Происходит это потому, что телевизионный приемник имеет устройства автоматической регулировки усиления (АРУ) как в видео, так и звуковом каналах. Тем не менее, при включении промежуточного усилителя должен уменьшаться уровень шумов. Иными словами, если в цепь антенны включен правильно работающий усилитель, то четкость на экране и шум в громкоговорителе должны существенно уменьшаться.

Антенные усилители УВЧ проверяются точно таким же образом. Предварительные усилители низкой частоты, используемые, например, для предварительного усиления сигналов от звукоснимателя или микрофона, проверяются с применением либо другого усилителя НЧ, либо измерителя выходного уровня. В этом случае источник входного сигнала должен генерировать колебания звуковых частот, а измеритель уровня также должен быть рассчитан на работу в диапазоне НЧ. Индикаторами в этом случае могут быть осциллограф или ламповый вольтметр.

Различные типы усилительных каскадов, из которых состоит транзисторный радиоприемник или телевизор, также можно проверять путем подачи входных сигналов. При этом нужно быть уверенным, однако, что частота и уровень подаваемого сигнала соответствуют каждый раз назначению проверяемого каскада. Более подробно об этом будет говориться в гл. 4, 5 и 7.

Другой метод контроля, используемый при быстром обнаружении неисправности, основывается на использовании прибора, представляющего собой индикатор сигналов.

В простейшем случае в качестве такого прибора можно использовать обычные наушники.

Основная идея данного метода проверки состоит в сравнении сигналов, получаемых в различных характерных точках между входом и выходом проверяемого прибора. Например, в случае двухкаскадного усилителя низкой частоты последовательность контрольных операций будет такой: сначала индикатор подключают к источнику входного сигнала (например, к выходу звукоснимателя), затем индикатор подключается ко входу усилителя, к выходу первого каскада, ко входу второго каскада и, наконец, к выходу второго каскада.

В такой последовательности прохождение сигнала окажется проверенным вдоль всего тракта от звукоснимателя до громкоговорителя, и, как только будет обнаружена точка, в которой сигнал отсутствует, это позволит с уверенностью судить о месте неисправности.

Для той же цели может быть использован диодный детектор, который позволит прослушивать модулированные ВЧ- или НЧ-сигналы с помощью наушников или громкоговорителя.

Роль детектора сводится только к тому, чтобы извлечь модулирующий сигнал, который затем можно подать на вход усилителя, точно так же, как мы это делали при проверке усилителей низкой частоты.

Существуют также другие методы проверки наличия сигналов, которые в отдельных случаях ускоряют обнаружение неисправностей в транзисторных приборах. Эти методы мы рассмотрим в последующих главах.

СОГЛАСОВАНИЕ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Проверяя прохождение сигнала описанными выше методами, нужно всегда принимать в расчет входные и выходные сопротивления проверяемых усилительных каскадов. Легко сделать ошибку, если пытаться подвести сигнал к устройству с малым внутренним сопротивлением, используя при этом генераторы или индикаторы с большим внутренним сопротивлением. Аналогичные ошибки можно допустить в попытках использовать генераторы или индикаторы с низким внутренним сопротивлением для проверки устройств с высокими внутренними сопротивлениями.

В качестве примера можно снова рассмотреть УВЧ- или СВЧ-антенный усилитель. Обычно такие усилители имеют несимметричные (т. е. рассчитанные на подключение коаксиального кабеля) вход и выход сопротивлением 75 *ом* (в отдельных случаях используются симметричные вход и выход сопротивлением 300 *ом*).

Это означает, что как генератор или антенна, так и телевизионный приемник или измеритель уровня сигналов должны иметь соответственно несимметричные выход и вход сопротивлением 75 *ом*. Данному требованию легко удовлетворить, поскольку все генераторы стандартных сигналов, антенны, антенные вводы, измерители уровня сигналов и телевизонные приемники рассчитаны именно на такие входные и выходные сопротивления.

Предположим, что мы используем источник сигнала с внутренним сопротивлением, например, 2 000 *ом*. Тогда вход усилителя окажется нагруженным неправильно, что может повлечь за собой неустойчивость усилителя и совершенно неверные показания индикатора. Аналогичным образом, если входное сопротивление приемника или измерителя уровня сигналов сильно отличается от выходного сопротивления усилителя, то усилитель будет нагружен неправильно со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Входные каскады усилителей низкой частоты и соответствующие контрольные приборы также рассчитаны на определенные значения входных сопротивлений. Например, каскад, к которому подключается пьезоэлектрический звукосниматель, вероятнее всего имеет входное сопротивление 2 *Мом*, в то время как входное сопротивление каскада, рассчитанного на подключение магнитного звукоснимателя, имеет порядок нескольких килоом.

Сопротивление входных каскадов радиоприемников заключены в широких пределах вплоть до 100 *ком*, в то время как микрофонные усилители имеют значительно более низкое входное сопротивление (обычно от 15 до 600 *ом*).

Выходы усилителей низкой частоты могут иметь как высокое, так и низкое сопротивление. Так, например, у высококачественных контрольных усилителей магнитофонов выходное сопротивление может достигать 100 *ком*. Это делается для того, чтобы получаемый на этом выходе сигнал мог быть затем подан на высокоомный вход мощного усилителя или блока управления, а также на вход записи другого магнитофона.

Громкоговорители обычно питаются от выхода с низкими сопротивлениями. У транзисторных усилителей величина этого сопротивления может изменяться от нескольких ом до нескольких сотен ом в зависимости от типа оконечного каскада. Хорошее согласование на выходе оконечного каскада особенно важно в случае транзисторных усилителей. При плохом согласовании расходуется дополнительная мощность и транзисторы выходного каскада могут выйти из строя.

Смысл согласования состоит в том, чтобы имелась уверенность в совпадении входных и выходных сопротивлений проверяемой аппаратуры и подключаемых к ней контрольных приборов. Если такое согласование отсутствует, к измерительным приборам или ко вспомогательному оборудованию параллельно или последовательно подключают активные или реактивные сопротивления, что и обеспечивает правильную нагрузку проверяемого прибора.

Следует заметить, однако, что при этом мы сознательно идем на потери мощности в этих дополнительных элементах. Эти потери надо принимать во внимание как при измерении коэффициента усиления, так и при определении уровня сигнала. Каждый генератор стандартных сигналов обычно снабжается выходным калиброванным аттенюатором, который позволяет точно установить требуемую величину сигнала. Однако уровень сигнала на входе усилителя будет совпадать с уровнем, на который установлен аттенюатор лишь в том случае, если нагрузка генератора соответствует той, которая указана в инструкции. При других нагрузках, которые могут оказаться необходимыми для согласования источника сигнала со входом проверяемого усилителя, уровень сигнала на выходе генератора фактически будет отличаться от уровня, установленного аттенюатором, причем степень такого отличия зависит от величины рассогласования.

Часто оказывается необходимым включать между выходом генератора и входом усилителя специальную схему согласования сопротивлений. Такая схема гарантирует, что генератор и усилитель окажутся нагруженными правильно.

Схема согласования сопротивлений всегда представляет собой аттенюатор, и уровень сигнала, поступающего на вход усилителя, будет меньше уровня сигнала на выходе генератора, что надо всегда принимать во внимание.

При правильном согласовании достигается уменьшение уровня шумов и наибольший коэффициент передачи по мощности. Кроме уменьшения уровня сигнала, неправильное согласование входов и выходов транзисторных приборов часто влечет за собой серьезное изменение характеристик, а также создает условия неустойчивости. Плохое согласование на выходе усилителя может повлечь за собой также рассогласование на входе по причине внутренней обратной связи, присущей транзистору.

СОГЛАСОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА СИГНАЛОВ

Когда выход генератора сигналов подсоединяется к каким-либо внутренним точкам схемы транзисторного прибора, необходимо принять все возможные меры для согласования выходного сопротивления генератора с сопротивлением, действующим между точками подсоединения. Последнее особенно важно при измерениях коэффициента усиления. Рассмотрим в качестве примера случай, когда выход генератора сопротивлением 75 *ом* соединяется со входом усилительного каскада, сопротивление которого равно 5 000 *ом*. Если такое соединение осуществить непосредственно, характеристики исследуемой схемы претерпят существенное изменение.

Один из способов согласования состоит в том, чтобы включить между генератором и входом каскада последовательный резистор сопротивлением 5 000 *ом* и, кроме того, включить соответствующий нагрузочный резистор на выход генератора. Заметим, однако, что подобная согласующая схема действует как аттенюатор и лишь небольшая часть выходного сигнала генератора будет поступать при этом на вход усилительного каскада.

Подобный метод соединения высокоомного выхода генератора сигналов со входом схемы пригоден лишь в том случае, когда генератор способен без перегрузки вырабатывать сигнал, значительно больший того, который должен быть подан на вход схемы. Подобное превышение сигнала требуется для компенсации потерь в согласующей схеме.

Когда выходное сопротивление источника сигнала больше входного сопротивления проверяемой схемы, нет необходимости в специальном согласовании, поскольку в данном случае подключение источника сигнала скажется лишь незначительно на характеристиках проверяемой схемы.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ОБНАРУЖЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В УНЧ И ВИДЕОУСИЛИТЕЛЯХ

БЛОК-СХЕМЫ НИЗКОЧАСТОТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Если низкочастотный усилитель предназначен для работы с громкоговорителем или другим преобразователем энергии, он, как правило, состоит из двух основных частей. Первая часть — это предварительный усилитель, задача которого состоит в том, чтобы усилить входной сигнал до уровня, достаточного для питания оконечного каскада. Вторая часть — это оконечный каскад. Задача оконечного каскада состоит в том, чтобы увеличить мощность поступающего на его вход сигнала до уровня, достаточного для питания преобразователя энергии.

Каждая из этих частей в свою очередь нередко состоит из нескольких каскадов. Предварительный усилитель, например, может состоять из двухкаскадного транзисторного входного усилителя (воспринимающего сигнал от звукоснимателя) и третьего каскада, в котором предусмотрена регулировка тона. Входной усилитель должен обладать малым уровнем шумов. Для этого в нем используются малошумящие транзисторы, которые работают при малых значениях коллекторного тока. Эта часть усилителя может содержать также согласующие цепи, которые требуются, например, при работе от звукоснимателя и воспроизводящей головки магнитофона.

С последнего каскада предварительного усилителя выровненный и отрегулированный сигнал усиливается до уровня, достаточного для питания оконечных каскадов усилителя. При этом учитывается также и входное сопротивление оконечных каскадов. Последний каскад предварительного усилителя можно рассматривать как буфер, осуществляющий согласование предварительного и оконечного усилителей.

Часть усилителя, содержащая оконечные каскады, обычно содержит два мощных транзистора, включенных по двухтактной схеме. Эти транзисторы питаются от предоконечного каскада, который выполняет также функции фазоинвертера. Таким образом, оконечная часть усилителя обычно состоит из двух каскадов: фазоинвертера и оконечного выходного каскада.

Усилитель низкой частоты, от которого не требуется большой выходной мощности для питания громкоговорителя, может состоять из одного или нескольких каскадов, обеспечивающих необходимую величину коэффициента усиления и отвечающих установленным требованиям относительно входного и выходного сопротивлений.

ПОТЕРИ В МЕЖКАСКАДНЫХ СВЯЗЯХ

Использование резисторных схем межкаскадной связи и согласования влечет за собой потери в усилении. Таким образом, хотя транзисторный каскад сам по себе обладает эффектом усиления, наличие ослабляющей цепи межкаскадной связи может привести к тому, что суммарный коэффициент усиления окажется равным единице или даже меньше. Разработчики схем часто вынуждены идти на сознательные потери коэффициента усиления ради обеспечения хорошего согласования. Эти потери компенсируются использованием большего числа усилительных каскадов. Занимаясь обнаружением неисправностей, никогда не следует забывать о только что высказанных соображениях.

ПОЛНАЯ НЕРАБОТОСПОСОБНОСТЬ УСИЛИТЕЛЯ

Если усилитель совсем не работает, то, по всей вероятности, следует начать с проверки режимов транзисторов по постоянному току. В большинстве случаев неисправность обнаруживается уже при такой проверке. Возможен, однако, случай, что все режимы по постоянному току будут нормальными, а усилитель все-таки не работает.

Усилитель, схема которого показана на рис. 4-1, может входить в состав как радиоприемника, так и телевизора. Он может быть с успехом использован также и для проигрывания грампластинок. Во всех случаях начинать надо с проверки прохождения сигнала на вход усилителя. Для этого следует либо подать на вход сигнал от любого

другого исправного усилителя, либо использовать индикатор. Если уровень входного сигнала достаточно велик, его можно услышать даже в наушниках.

Если приходится иметь дело с весьма слабыми входными сигналами, то в случае отсутствия осциллографа полезно иметь транзисторный индикатор сигналов. В качестве такого индикатора может быть

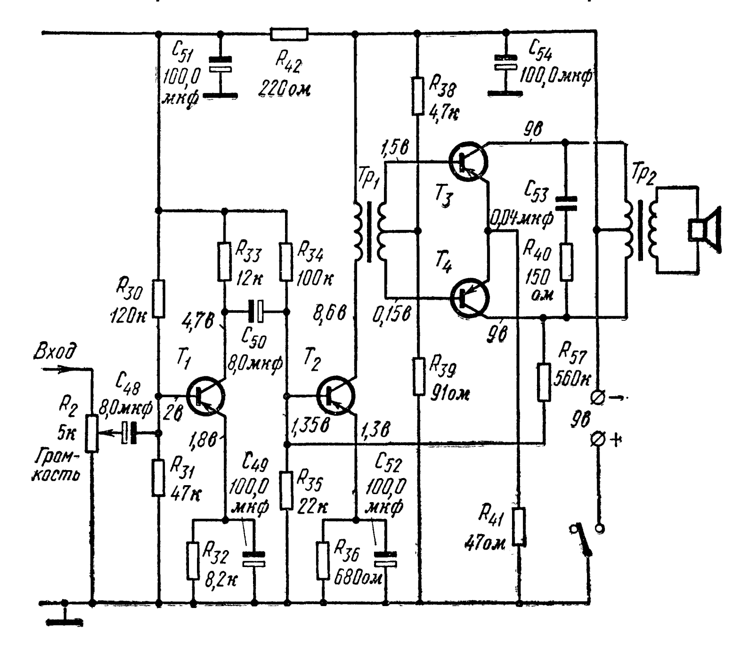


Рис. 4-1.

использован небольшой усилитель низкой частоты с громкоговорителем или наушниками на выходе. Усилитель должен иметь коэффициент усиления, достаточный для прослушивания слабых входных сигналов.

ПРОВЕРКА НА ШУМ

Даже не располагая специальными приборами, все же удается быстро проверить общую работоспособность усилителя. Для этого регулятор громкости нужно установить в положение, соответствующее максимальной громкости, и дотронуться до входа усилителя кончиком отвертки, а металлическую часть отвертки при этом держать пальцами. Обычно этого оказывается достаточно, чтобы в громкоговорителе нормально работающего усилителя, питаемого от батарей, услышать потрескивания и характерный шум.

Это происходит по той причине, что на вход усилителя попадает переменное напряжение, наводимое в человеческом теле близко рас-

положенными проводами осветительной сети переменного тока. Следует отметить, однако, что если поблизости от того места, где вы занимаетесь ремонтом, отсутствует осветительная сеть, то подобный фон в громкоговорителе будет очень слабым или же его может не быть вообще. Если коэффициент усиления усилителя достаточно велик, то касаясь отверткой входных цепей, мы все же услышим щелчки или потрескивания.

Другой способ обнаружения неисправностей состоит в том, чтобы подсоединять наушники или другой индикатор сигналов к различным точкам схемы, начиная от входа и кончая выводами громкоговорителя. Подсоединять индикатор следует через разделительный конденсатор, чтобы не нарушать при этом режимы по постоянному току.

ЧАСТОТНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ

Несколько труднее обнаружить причину неполной неисправности в усилителе. Примером такой неполной неисправности могут служить частотные искажения. Предположим, например, что усилитель, схема которого показана на рис. 4-1, плохо воспроизводит низкие частоты и в то же время перегружается на высоких частотах. В простых усилителях наиболее вероятной причиной такого явления должна быть неисправность в цепях межкаскадной связи. Рассмотрим вопрос более подробно.

Как видно из рис. 4-1, транзистор T_1 связан с транзистором T_2 с помощью электролитического конденсатора связи емкостью 8 *мкф*. Мы знаем, что выходное сопротивление каскада с общим эмиттером имеет средние или высокие значения, а входное сопротивление — низкие или средние значения (наличие отрицательной обратной связи приводит к увеличению входного сопротивления).

Конденсатор связи C_{50} не пропускает постоянного тока и в то же время пропускает переменный ток сигнала. Ток через конденсатор зависит как от реактивного сопротивления конденсатора на заданной частоте, так и от входного сопротивления транзистора T_2. Сопротивление, оказываемое конденсатором прохождению тока, называется *емкостным реактивным сопротивлением*

$$X_C = \frac{10^6}{2\pi f C}, \text{ ом},$$

где f — частота сигнала (*гц*); C — емкость конденсатора (*мкф*).

Из формулы видно, что величина X_C уменьшается с увеличением частоты.

В схеме усилителя сопротивление X_C включено последовательно с входным сопротивлением транзистора T_2. Вместе они составляют делитель напряжения, поскольку сам транзистор питается сигналом, действующим в точке соединения емкостного сопротивления конденсатора связи и входного сопротивления каскада. Если обозначить входное сопротивление транзистора T_2 буквой $r_{вх}$, то в результате получится эквивалентная схема, показанная на рис. 4-2; выходной сигнал равен:

$$E_{вых} = E_{вх} \frac{r_{вх}}{X_C + r_{вх}}.$$

Эта формула описывает работу делителя напряжения. Из нее видно, что величина $E_{вых}$ уменьшается при увеличении X_C. Следовательно, сигнал, передаваемый от транзистора T_1 к транзистору T_2 (рис. 4-1), уменьшается с уменьшением частоты.

Чтобы эффект уменьшения сигнала сказывался лишь на самых низких частотах, емкость конденсатора связи выбирается очень большой. Предположим теперь, что в результате внутренних повреждений емкость конденсатора связи уменьшилась. Тогда второй каскад усилителя будет получать сигнал гораздо более высокого уровня на высоких частотах, чем на низких. Мы услышим звук, в котором чрезмерно подчеркнуты высокочастотные составляющие.

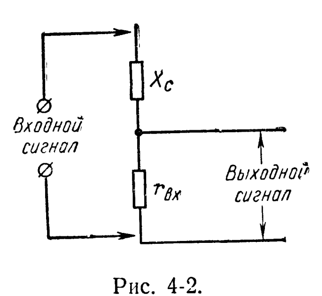


Рис. 4-2.

Предположим далее, что для того чтобы все-таки услышать басы, мы увеличиваем уровень входного сигнала или повышаем коэффициент усиления. В обоих случаях это приведет к перегрузке усилителя на высоких частотах и еще большим искажениям.

Электролитические конденсаторы, шунтирующие эмиттерные резисторы транзисторов T_1 и T_2, также могут оказаться причиной частотных искажений. Если отключить эти конденсаторы, в каскадах возникнет отрицательная обратная связь и уменьшится коэффициент усиления. Хотя шунтирующий конденсатор и снижает подобный эффект, отрицательная обратная связь все же остается, причем величина обратной связи больше на низких частотах и меньше на высоких. Действительно, шунтирующее действие емкостного реактивного сопротивления X_C полностью сказывается лишь на высоких частотах, в то время как на самых низких частотах отрицательная обратная связь имеет наибольшую величину. Здесь также происходит подавление низкочастотных составляющих сигнала и снижение общего коэффициента усиления.

НЕЛИНЕЙНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ

Искажения формы сигнала часто оказываются очень неприятными в низкочастотных усилителях. Основная причина этих искажений всегда заключена в выходном каскаде. В таких каскадах транзисторы T_3 и T_4 работают в режиме В. Другими словами, их базовые смещения выбираются таким образом, чтобы транзистор работал на границе отсечки. Практически подобный режим устанавливается подбором резисторов делителя напряжения в базовой цепи (резисторы R_{38} и R_{39} в рассматриваемой схеме).

Вторичная обмотка трансформатора Tp_1 имеет среднюю точку. Напряжение, действующее в этой обмотке, в течение одного полупериода отпирает один из транзисторов и полностью запирает второй, а в течение другого полупериода первый транзистор запирается, а второй отпирается. Поскольку оба выходных транзистора в рассматриваемой схеме являются транзисторами *p-n-p* типа, они открываются в течение отрицательных полупериодов напряжения на базе и закрываются в течение положительных полупериодов.

В результате описанных процессов первичная обмотка выходного трансформатора $Тр_2$ получает два импульса тока: один положительный и один отрицательный. Если каскад работает правильно, эти два импульса образуют в сумме полный период синусоиды (рис. 4-3, *а*).

Если режим по постоянному току транзисторов оконечного каскада выбран таким образом, что при отсутствии сигнала их коллекторные токи почти равны нулю, два импульса уже не совпадают друг с другом и в результате форма напряжения в выходном трансформаторе оказывается сильно искаженной (рис. 4-3, *б*). При этом в громкоговорителе возникают очень неприятные искажения — звук начинает дребезжать. Избавиться от подобных искажений можно, отрегулировав базовое смещение таким образом, чтобы при отсутствии сигнала коллекторные токи транзисторов оконечного каскада существенно отличались от нуля. У некоторых усилителей в цепь базового смещения выходного каскада включен специальный подстроечный резистор, регулируя который можно избавиться от искажений.

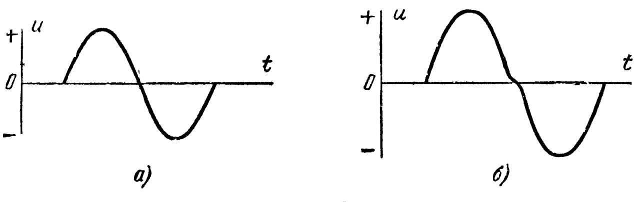


Рис. 4-3.

В предыдущих главах мы говорили о том, что коллекторный ток зависит от температуры коллекторного перехода, т. е. ток увеличивается с увеличением температуры. Мы знаем также, что при увеличении температуры существенно увеличивается коллекторный ток утечки.

Если значения коллекторных токов транзисторов, работающих в режиме В, отрегулированы очень критично, так чтобы только отсутствовали нелинейные искажения, то небольшое понижение температуры сразу вызовет появление искажений. К сожалению, так часто и случается. В холодную погоду или в холодном помещении усилители, работающие в режиме В, начинают работать с искажениями до тех пор, пока транзисторы сами собой слегка не нагреваются.

Существует метод устранения такого недостатка. Сущность метода состоит во включении в одно из плеч делителя напряжения элемента, чувствительного к температуре (см. рис. 2-8).

ДИОД — СТАБИЛИЗАТОР СМЕЩЕНИЯ

Для стабилизации смещения могут быть использованы плоскостные диоды. Делается это так, как показано на рис. 4-4. Принцип действия схемы состоит в следующем. При низких температурах сопротивление диода велико, и оно уменьшается с повышением температуры. Следовательно, если включить диод в нижнее плечо делителя напряжения, от которого питаются цепи базы *p-n-p* транзисторов, при понижении температуры сопротивление диода будет увеличиваться, а это повлечет за собой увеличение напряжения $U_б$. Послед-

нее в свою очередь будет препятствовать чрезмерному уменьшению коллекторного тока, а значит, и возникновению нелинейных искажений. Если температура внешней среды повышается, сопротивление стабилизирующего диода снижается, напряжение на базе уменьшается, что снова препятствует отклонению значений коллекторных токов от нормы.

Описанные меры оказываются наиболее эффективными к концу срока службы батареи, питающей усилитель низкой частоты или портативный радиоприемник. Получается так потому, что нелинейные искажения чаще всего возникают именно при пониженном напряжении питания, чего и следовало бы ожидать, исходя из высказанных соображений. С помощью резисторов, включенных параллельно и последовательно диоду, регулируется чувствительность схемы к температуре. Подбирая сопротивления этих резисторов, добиваются получения зависимости общего сопротивления схемы от температуры такой же, как и соответствующая характеристика транзисторов выходного каскада.

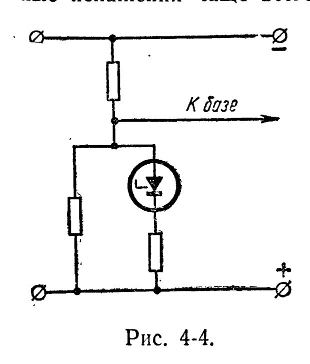


Рис. 4-4.

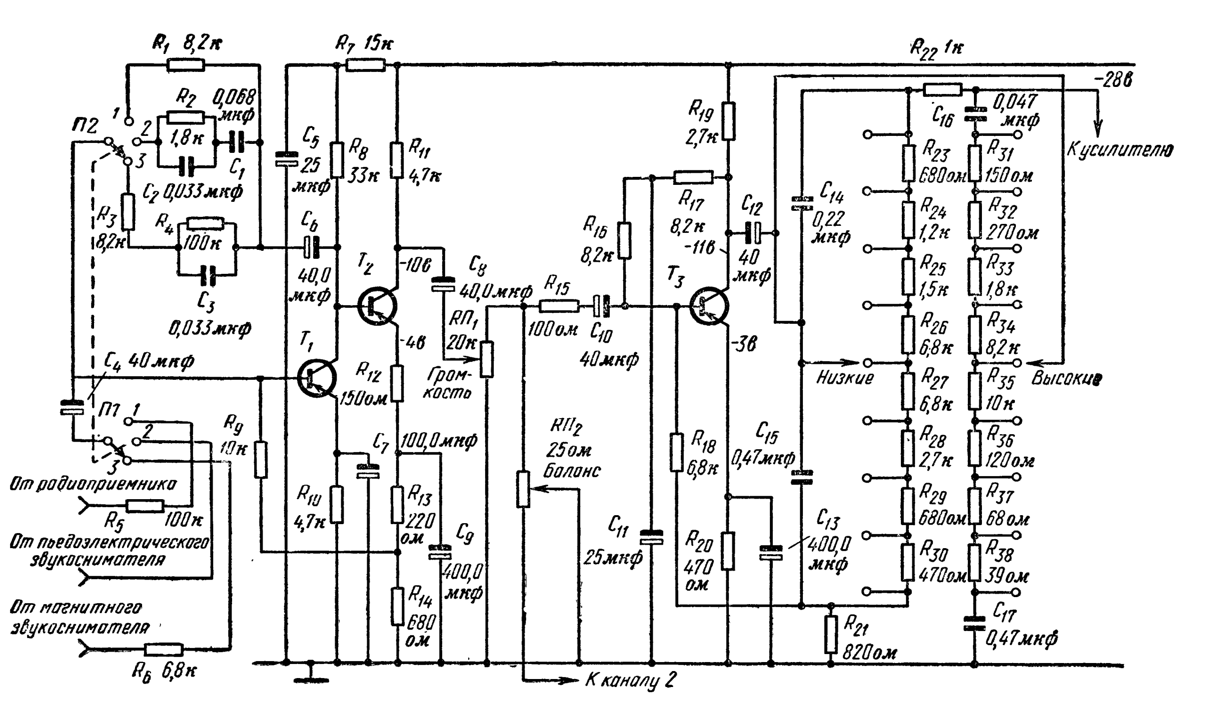
Нелинейные искажения уменьшаются также с помощью последовательной цепочки, состоящей из конденсатора C_{53} и резистора R_{40}, включенной параллельно первичной обмотке выходного трансформатора. Уменьшает нелинейные искажения и обратная связь от коллектора транзистора T_4 к базе транзистора T_2 через резистор обратной связи R_{37} (см. рис. 4-1).

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Пожалуй, мы уже достаточно много уделили внимания простейшему усилителю, работающему в режиме В. Перейдем теперь к рассмотрению более сложных схем, используемых в предварительных усилителях систем высококачественного воспроизведения звука. Для примера используем схему высококачественного предварительного усилителя (рис. 4-5). Схема содержит два каскада с непосредственной связью, выравнивающие цепи на входе и выходной каскад, содержащий средства регулировки тембра.

Поскольку коллектор транзистора T_1 соединен непосредственно с базой транзистора T_2. здесь не возникает проблемы частотных искажений, вызываемых конденсатором связи. Транзисторы в обоих каскадах включены по схеме с общим эмиттером, а параметры элементов схемы выбраны таким образом, что напряжение, действующее на коллекторе транзистора T_1, обеспечивает правильную величину базового смещения транзистора T_2. Режим по постоянному току стабилизируется цепью обратной связи от эмиттерной цепи транзистора T_2 к базе транзистора T_1 через резистор R_9.

Выровненный и усиленный сигнал с коллектора транзистора T_2 передается через резистор R_1 регулятора громкости на базу транзистора T_3. Основной выходной сигнал снимается затем с коллектора этого транзистора. В основу принципа действия входных выравнивающих цепей и схемы регулировки тона положен метод частотноза-



R1 8,2к
R7 15к
R22 1к
-28в
П2
R2 1,8к
0,068 мкф
C1
C2 0,033 мкф
R3 8,2к
R4 100к
C3 0,033 мкф
C5 25 мкф
R8 33к
R11 4,7к
C6 40,0 мкф
T2
-10в
C8 40,0 мкф
T1
-4в
R12 150 ом
C4 40 мкф
П1
R9 10к
C7
100,0 мкф
R10 4,7к
R13 220 ом
C9 400,0 мкф
R14 680 ом
От радиоприемника
R5 100к
От пьезоэлектрического звукоснимателя
От магнитного звукоснимателя
R6 6,8к
RП1 20к
Громкость
R15 100 ом
C10 40 мкф
RП2 25 ом баланс
К каналу 2
R19 2,7к
R16 8,2к
R17 8,2к
-11в
C12 40 мкф
T3
-3в
R18 6,8к
C11 25 мкф
R20 470 ом
C15 0,47 мкф
C13 400,0 мкф
C14 0,22 мкф
R21 820 ом
C16
0,047 мкф
К усилителю
R23 680 ом
R24 1,2к
R25 1,5к
R26 6,8к
R27 6,8к
R28 2,7к
R29 680 ом
R30 470 ом
Низкие
R31 150 ом
R32 270 ом
R33 1,8к
R34 8,2к
R35 10к
R36 120 ом
R37 68 ом
R38 39 ом
Высокие
C17 0,47 мкф

Рис. 4-5

висимой отрицательной обратной связи. Поэтому в схеме имеется два контура обратной связи: один между коллектором и базой транзистора T_1, а второй — между коллектором и базой транзистора T_3.

КОРРЕКЦИЯ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В рассматриваемой схеме один из трех возможных входных сигналов выбирается переключателем $П_1$, а соответствующая этому сигналу схема коррекции выбирается переключателем $П_2$. Пусть, например, оба переключателя находятся в положении *1*. Тогда переключатель $П_2$ подключает резистор R_1 между коллектором и базой транзистора T_1. Поскольку в данном случае этот резистор оказывается единственным элементом цепи обратной связи, коэффициент обратной связи оказывается постоянным и не зависящим от частоты. Переключатель $П_1$ подключают ко входу усилителя зажим *Радио*. Работа в таком режиме не требует выравнивания. Когда оба переключателя находятся в положении *2* или *3*, в контур обратной связи первого каскада включаются емкости. Коэффициент обратной связи в пределах диапазона звуковых частот оказывается зависимым от частоты. Точнее, с увеличением частоты коэффициент обратной связи увеличивается и коэффициент усиления на высоких частотах соответственно снижается.

Амплитуда сигнала на выходе магнитного звукоснимателя увеличивается с увеличением частоты То же самое происходит и с керамическим пьезоэлектрическим звукоснимателем, если он нагружен на сопротивление относительно небольшой величины. Здесь проявляется так называемый «скоростной» эффект. Цепи коррекции обеспечивают на выходе входного усилительного каскада примерно одинаковые сигналы, независимо от источника получения этих сигналов. При работе от радиоприемника входные сигналы равномерно распределены по всему диапазону звуковых частот и никакого выравнивания здесь не требуется. То же справедливо для пьезоэлектрического звукоснимателя, если он работает на нагрузку с очень высоким сопротивлением (порядка 1 *Мом*). Поскольку пьезоэлектрический звукосниматель в известном смысле эквивалентен емкости, то величина его выходного сигнала пропорциональна величине *перемещения* острия иголки в отличие от звукоснимателя магнитного типа, у которого величина выходного сигнала пропорциональна *скорости* перемещения острия иголки. Подобным условием удовлетворяет чисто реактивная цепь обратной связи. При этом чем меньше сопротивление резистора, тем больше глубина обратной связи и тем меньше коэффициент усиления.

Обратная связь, избирательная по частоте, нередко используется также в усилителях воспроизведения магнитофонов, поскольку выходной сигнал магнитной головки (именно потому, что она магнитная) возрастает с увеличением частоты. Снижая усиление на высоких частотах, мы увеличиваем относительное усиление на басах (когда в общем выходном сигнале относительная амплитуда высокочастотных составляющих становится меньше, это сказывается как подчеркивание басов). Схемы коррекции служат именно для того, чтобы получить сигнал, в котором не преобладают ни низкочастотные, ни высокочастотные составляющие.

Аналогичные схемы обратной связи, избирательной по частоте, используются для регулировки тембра в каскаде, собранном на тран-

зисторе T_3. Здесь, однако, для регулирования амплитуд высокочастотных и низкочастотных составляющих используются раздельные схемы. В результате этого относительное содержание в выходном сигнале высокочастотных и низкочастотных составляющих по отношению к амплитуде сигнала на частоте 1 *кгц* может быть или уменьшено, или увеличено, или, наконец, выровнено (рис. 4-6). Подобные средства регулировки тембра вводятся в состав высококачественной

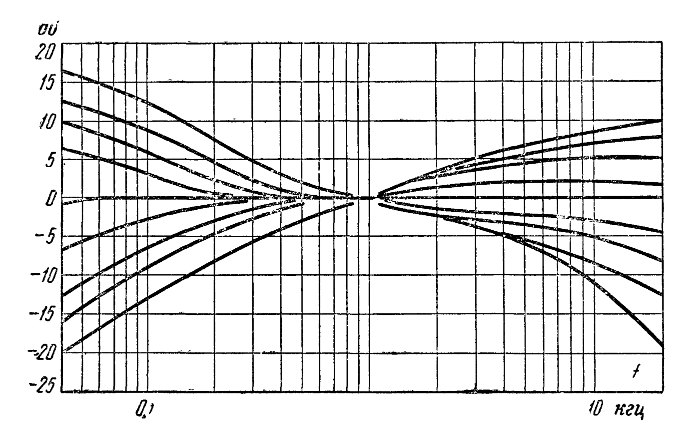


Рис. 4-6.

звуковоспроизводящей аппаратуры для того, чтобы выровнять ее собственные характеристики по отношению к акустическим характеристикам помещения, в котором производится прослушивание.

ШУМЫ

Для обеспечения наибольшего отношения сигнал/шум стремятся рассчитать первый каскад низкочастотных усилителей таким образом, чтобы он обеспечивал максимальную передачу сигнала. Не следует забывать, однако, что транзистор представляет собой прибор, управляемый током. Например, в рассмотренной схеме усилителя выход пьезоэлектрического звукоснимателя подключается непосредственно к базе транзистора T_1. Именно поэтому в выходном сигнале звукоснимателя увеличивается относительное содержание высокочастотных составляющих. Если бы, стремясь выровнять частотную характеристику, мы увеличили сопротивление входной цепи транзистора T_1 до 1 или 2 *Мом*, входной сигнал оказался бы существенно ослабленным и это ухудшило бы отношение сигнал/шум. Правда, с другой стороны, тогда не понадобилось бы использовать выравнивающие цепи.

Шумы в транзисторах низкой частоты, если, конечно, сам усилитель рассчитан правильно, возникают обычно из-за дефектов самих транзисторов, особенно транзисторов первых каскадов (например, транзистора T_1 в рассматриваемой схеме). Другим источником шумов могут оказаться резисторы, использованные в схемах первых каскадов. Если резистор при прохождении по нему тока создает по-

вышенное напряжение шума, это напряжение затем усиливается всеми последующими каскадами. В шумящем усилителе все резисторы первого каскада следует заменять по очереди, помня при этом, что шум может создаваться не одним, а несколькими резисторами.

Шумовой сигнал может попадать в первые каскады от источника питания. Лучший способ проверки в данном случае состоит в том, чтобы отсоединить первые каскады от общей цепи питания и подсоединить их к свежей батарее. Если шум при этом исчезнет, нужно проверить не только сам источник питания, но и элементы цепей развязки, т. е. элементы R_7 и C_5 в схеме на рис. 4-5 и элементы R_{42} и C_{51} в схеме на рис. 4-1.

Элетролитические блокировочные конденсаторы и конденсаторы связи также могут стать шумящими. Для того чтобы выявить шумящий каскад, достаточно отключать конденсаторы связи по одному, начиная с того, который подключен к базе транзистора последнего каскада, и снова подсоединять их после проверки. В результате подобного процесса последовательного исключения неисправный каскад будет обнаружен.

Заменяя электролитические конденсаторы, нужно все время следить за тем, чтобы полярность включения их была правильной.

Еще одной причиной шума могут оказаться плохие пайки выводов переходного или выходного трансформатора. В транзисторной аппаратуре часто используются сверхминиатюрные трансформаторы, которые более подвержены всевозможным повреждениям по сравнению с обычными.

В каскадах с непосредственными связями изменение параметра одного из схемных элементов, например резистора и даже самого транзистора, может привести к перераспределению тока между электродами транзистора. Увеличение коллекторного тока транзистора первого каскада сопровождается увеличением шума. Однако неисправность такого рода повлечет за собой также и искажения на малых уровнях.

ИСКАЖЕНИЯ НА МАЛЫХ УРОВНЯХ

Искажения на малых уровнях в отличие от нелинейных искажений могут возникнуть в результате изменения режима по постоянному току. Подобное изменение в свою очередь может возникнуть, например, вследствие изменения сопротивления резистора. Обнаружить искажения на малых уровнях проще всего с помощью осциллографа. На вход усилителя подается сигнал от звукового генератора, и форма сигнала просматривается в различных точках схемы. Искажения такого типа проявляются в том, что вершина одного из полупериодов скругляется или становится плоской.

Эта контрольная операция значительно упрощается, если подать на вход усилителя максимальный входной сигнал. Симметричные искажения обоих полупериодов укажут на то, что режим по постоянному току выбран правильно. Если даже при небольших сигналах искажается лишь один полупериод, это служит прямым указанием на разбаланс режима по постоянному току. Для восстановления режима необходимо увеличить или уменьшить базовое смещение одного из каскадов. Что именно надо делать и в каком каскаде, зависит от способа включения транзистора, типа проводимости транзистора и от того, какой именно полупериод сигнала, снимаемого с коллек-

тора, оказывается искаженным, — положительный или отрицательный.

В схемах с делителем напряжения в базовой цепи для увеличения смещения надо зашунтировать верхнее плечо делителя, а для уменьшения — нижнее. При этом в качестве шунтирующего надо выбирать резистор, сопротивление которого, по меньшей мере, вдвое больше сопротивления шунтируемого резистора. Результат изменения смещения наблюдается на экране осциллографа. Пусть, например, искажения уменьшаются или исчезают совсем, когда шунтируется нижнее плечо делителя. Это значит, что напряжение базового смещения надо сделать менее отрицательным в случае *p-n-p* транзистора или менее положительным в случае *n-p-n* транзистора.

Во всех случаях, а особенно при подаче контрольного сигнала на вход транзисторного усилителя нужно иметь в виду, что здесь важна форма тока, а не напряжения, поскольку нелинейность, свойственная вольт-амперной характеристике эмиттерного перехода, может привести к тому, что напряжение на эмиттерном переходе будет выглядеть чисто синусоидальным при несинусоидальном токе, протекающем через этот переход. Чтобы избежать подобных ошибок, источник контрольного сигнала следует подключать к схеме через резистор. Одной из причин искажений может оказаться зависимость коэффициента усиления по току от величины коллекторного тока. Эта зависимость, однако, сказывается незначительно и может быть совсем исключена введением отрицательной обратной связи.

Например, в схеме (рис. 4-5) отрицательная обратная связь возникает за счет того, что резистор R_{12} в эмиттерной цепи транзистора T_2 не шунтируется конденсатором. Эта обратная связь значительно увеличивает входное сопротивление каскада и заодно уменьшает искажения, вызываемые как нелинейностью транзисторных характеристик, так и изменениями величины B.

В пределах данной главы нельзя рассмотреть все существующие схемы низкочастотной аппаратуры. Однако уже то, что сказано, можно с успехом использовать для проверки многих типов транзисторных схем.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ

На рис. 4-7 показана схема двухваттного транзисторного усилителя. Входной каскад охвачен цепью обратной связи, обеспечивающей регулировку усиления на высоких частотах. Выходной сигнал, снимаемый с коллектора, через регулятор громкости передается на вход двухкаскадного усилителя с емкостной связью, построенного на транзисторах T_2 и T_3, причем оба транзистора включены по схеме с общим эмиттером.

Коллектор транзистора T_3 соединен непосредственно с базами дополнительной пары транзисторов T_4 и T_5, составляющих предоконечный каскад. Оконечный двухтактный каскад собран на транзисторах T_6 и T_7, работающих в режиме B. Между предоконечными и оконечными каскадами также имеется непосредственная связь.

Поскольку в предоконечном каскаде используются транзисторы *p-n-p* и *n-p-n* типов, каждый из них проводит только в течение одного полупериода и только в течение этого полупериода передает сигнал на базу соответствующего транзистора выходного каскада. Когда проводит транзистор T_7, ток протекает по катушке громкоговорителя через резистор R_{17}. Когда проводит транзистор T_6, ток проте-

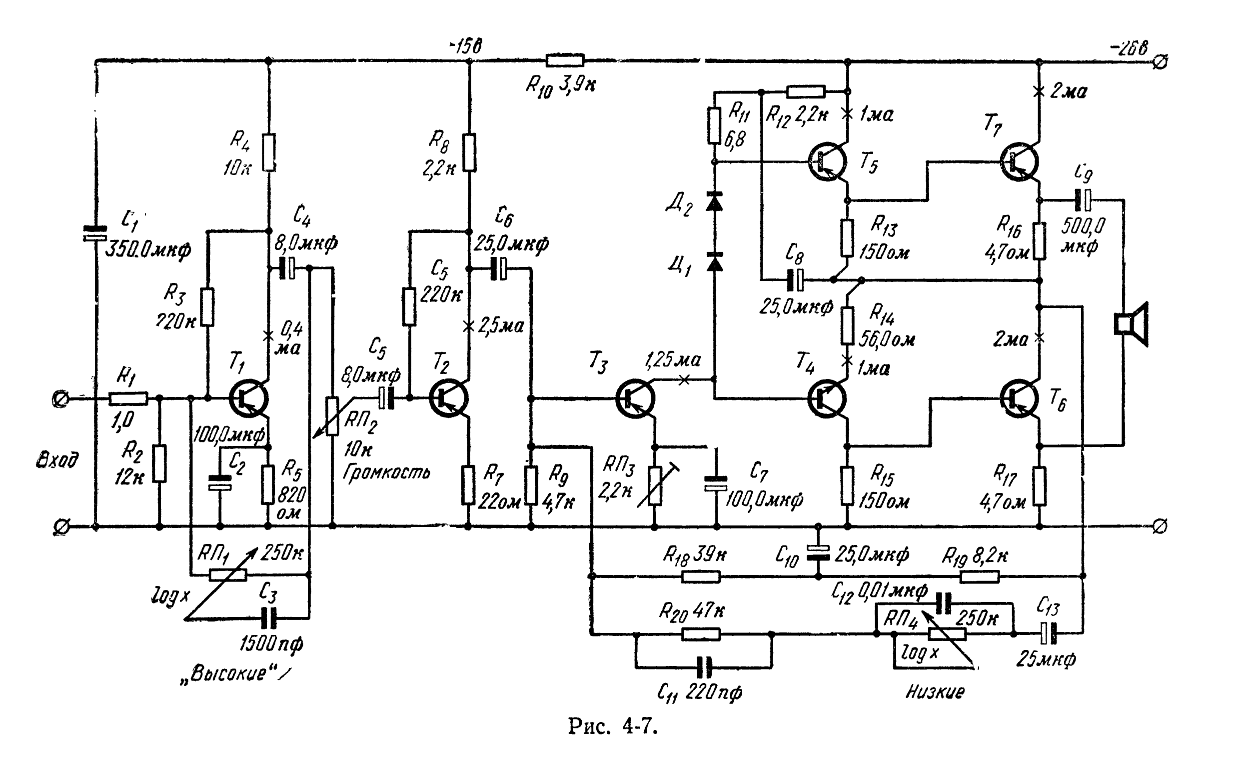

-15в
-26в
R10 3,9к
R4 10к
R8 2,2к
C1 350,0мкф
C4 8,0мкф
C6 25,0мкф
C5 220к
R3 220к
0,4 ма
2,5ма
T1
T2
T3
C5 8,0мкф
1,25ма
R1 1,0
Вход
R2 12к
100,0мкф
C2
R5 820 ом
RП2 10к Громкость
R7 22ом
R9 4,7к
RП3 2,2к
C7 100,0мкф
RП1 250к
log x
C3 1500пф
„Высокие"
R11 6,8
R12 2,2к
1ма
T5
T7
2ма
C9 500,0 мкф
Д2
Д1
R13 150ом
R16 4,7ом
C8 25,0мкф
R14 56,0ом
2ма
T4
1ма
T6
R15 150ом
R17 4,7ом
R18 39к
C10 25,0мкф
R19 8,2к
C12 0,01мкф
RП4 250к
C13 25мкф
R20 47к
log x
C11 220пф
Низкие

Рис. 4-7.

кает по катушке громкоговорителя через резистор R_{16}. Громкоговоритель подсоединен к схеме через конденсатор C_9. Транзисторы предоконечного каскада поочередно переводят транзисторы выходного каскада в проводящее состояние.

Стабилизирующая обратная связь по постоянному току подается от коллектора транзистора T_6 к базе транзистора T_3 через резисторы R_{13} и R_{19}. Конденсатор C_{10} исключает возможность прохождения по этой цепи сигналов переменного тока. Между этими же точками включена цепь частотнозависимой отрицательной обратной связи. Протекание постоянного тока по этой цепи невозможно благодаря наличию разделительного конденсатора C_{13}. Коррекция фазы на высоких частотах осуществляется цепью, составленной из резистора R_{20} и конденсатора C_{11}. Регулируемый фильтр низких частот состоит из переменного резистора R_4 и конденсатора C_{12}, поскольку именно на низких частотах они изменяют глубину обратной связи. Регулировка достигается путем изменения сопротивления переменного резистора.

Падение напряжения на диодах $Д_1$ и $Д_2$ в результате протекания по ним коллекторного тока транзистора T_3 используется для задания смещения на базы транзисторов предоконечного каскада. Характеристики диодов позволяют уменьшить зависимость режима работы предоконечного каскада от изменения коллекторного тока транзистора T_3. Если вместо диода использовать обычный резистор, подобная зависимость сказывается в значительно большей степени. Диоды представляют собой цепь с низким сопротивлением как для изменений постоянного тока, так и для сигнала переменного тока.

В цепях обратной связи каскадов с непосредственными связями часто используются настроечные резисторы, позволяющие устанавливать рабочие режимы каскадов. В рассматриваемой схеме это резистор R_3. Способ настройки состоит в том, что поданный на вход сигнал от звукового генератора регулируют так, чтобы выходной сигнал был заметно ограничен, и затем регулируют резистор R_3 до тех пор, пока оба полупериода выходного сигнала не окажутся искаженными симметрично.

Заметим, что на входе усилителя включен резистор R_1 с весьма большим сопротивлением. Это делается в целях выравнивания частотной характеристики сигналов, поступающих от различных источников.

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ УСИЛИТЕЛЕЙ

Заканчивая рассмотрение усилителей низкой частоты, следует сказать несколько слов о неустойчивости усилителей Ее причиной может оказаться общее сопротивление связи между двумя каскадами усилителя. Наиболее частой причиной такой связи оказываются источники питания. Батареи, от которых питаются транзисторные приборы, обладают высоким внутренним сопротивлением, причем это сопротивление резко увеличивается к концу срока службы и может оказаться причиной нежелательной связи, особенно в случаях, когда батарея не зашунтирована электролитическим конденсатором большой емкости. При наличии паразитной связи через источник питания возникает низкочастотная генерация и в громкоговорителе возникает шум, похожий на треск мотоциклетного двигателя.

Другой причиной неустойчивости может оказаться неисправность конденсатора межкаскадной связи или конденсатора, шунтирующе-

го шину питания. Неисправность блокировочного конденсатора в эмиттерной цепи редко сопровождается серьезными последствиями. Если в результате такой неисправности и возникает обратная связь, то отрицательная, а не положительная.

Правда, отрицательная обратная связь может повлечь за собой дополнительный поворот фазы в другом контуре обратной связи, охватывающем тот же каскад. В этом случае возникают колебания на высоких частотах, обычно лежащих вне предела звуковых частот. Обнаружить эти колебания можно только с помощью осциллографа.

В предварительных усилителях с большим коэффициентом усиления перемещение монтажных проводников может вызвать появление паразитных связей между входными и выходными цепями. Такие связи необязательно вызывают неустойчивость, но могут резко исказить форму частотной характеристики в высокочастотной части диапазона звуковых частот.

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Рассмотрим теперь вкратце высококачественные транзисторные усилители звуковых частот. В последние годы они становятся все более популярными.

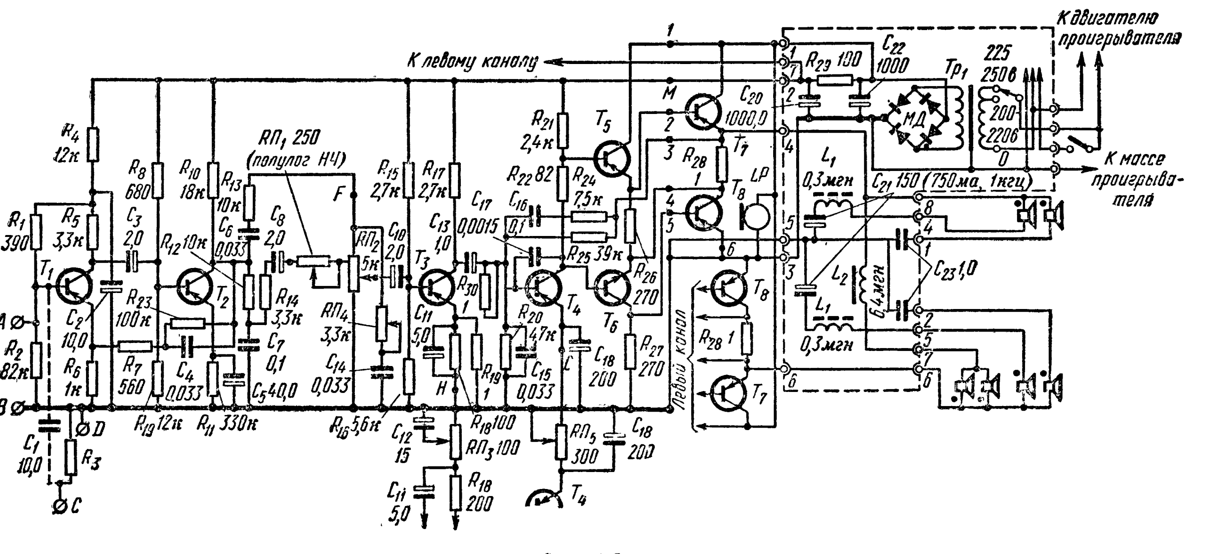
На рис. 4-8 показана схема транзисторного усилителя стереофонической системы.

Входной сигнал подается на базу транзистора T_1. С коллектора транзистора T_1 через конденсатор C_3 сигнал подается на базу транзистора T_2. Выравнивание частотной характеристики осуществляется с помощью обратной связи, подаваемой с коллектора транзистора T_2 на базу транзистора T_1 по цепи, составленной из конденсатора C_4 и резисторов R_{23} и R_7. От транзистора T_2 сигнал поступает к транзистору T_3 через цепь регулировки тембра в области низких частот (переменный резистор R_1), цепь регулировки громкости (переменный резистор R_2) и конденсатор C_{10}. Регулировка тембра в области высоких частот осуществляется переменным резистором R_4.

С коллектора транзистора T_4 сигнал подается на базы дополнительной симметрирующей пары транзисторов. Эти транзисторы вырабатывают сигнал, управляющий бестрансформаторным оконечным каскадом. Сигнал отрицательной обратной связи поступает через резисторы R_{24}, R_{25} и конденсатор C_{16} на базу транзистора T_4.

Переменный резистор R_3 используется для балансировки. Этот резистор является общим для каскадов, собранных на транзисторах T_3 обоих каналов. Поэтому он подсоединяется одинаковым образом к эмиттерным цепям этих каскадов. Балансировка осуществляется с помощью отрицательной обратной связи. Движок переменного резистора R_3 соединен с конденсатором C_{12}. Когда этот движок находится в среднем положении, в каждую из эмиттерных цепей вводятся одинаковые сопротивления. Регулируя положение движка, можно увеличить глубину обратной связи в одном из каналов и соответственно уменьшить ее в другом. При этом усиление одного из каналов уменьшается, а другого увеличивается. Таким образом балансируется громкость звука по каждому из каналов и достигается наилучший стереофонический эффект.

Усилитель питается от сети переменного тока. Необходимое напряжение получается с помощью трансформатора питания Tp_1, которое затем выпрямляется с помощью диодного моста. Пульсации выпрямленного напряжения фильтруются с помощью конденсаторов



К левому каналу
К двигателю проигрывателя
К массе проигрывателя
Левый канал
(полулог НЧ)
(750 ма, 1 кгц)
225
250 в
200
220 в
0
МД
0,3 мгн
6,4 мгн

Рис. 4-8.

C_{20}, C_{22} и резистора R_{29}. Получаемое на выходе фильтра напряжение используется для питания обоих каналов.

Обнаружение неисправностей должно производиться здесь в соответствии с методикой, описанной в гл. 2-4. Следует заметить, однако, что для того чтобы сохранить высокие параметры усилителя, нужно заменять детали лишь на полностью идентичные. Это относится также и к транзисторам, причем в предоконечный и оконечный каскады можно устанавливать только специально подобранные пары транзисторов с одинаковыми характеристиками.

Переменный резистор R_5 служит для установки смещения в оконечном каскаде. Изменять положение движка этого резистора следует лишь после замены какого-либо из транзисторов T_4—T_8. Настройка здесь сводится к тому, что между контактами *4* и *6* разъема *А* включают вольтметр и движок резистора R_5 вращают до тех пор, пока стрелка вольтметра не установится на нуль.

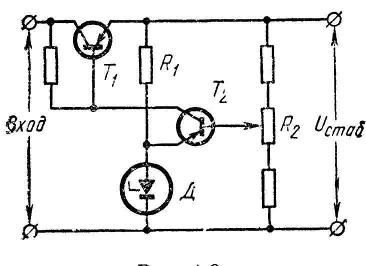


Рис. 4-9.

В блоках питания высококачественных усилителей, как правило, используются стабилизаторы. Такой стабилизатор содержит один или несколько транзисторов и стабилитрон, создающий опорное напряжение. Принцип действия стабилизатора состоит в следующем. Ток нагрузки проходит через транзистор, а величина этого тока устанавливается в зависимости от напряжения, падающего на нагрузке. Часть напряжения нагрузки передается к регулирующему транзистору непосредственно через усилитель. Таким образом, управляющее напряжение на базе регулирующего транзистора зависит от напряжения на нагрузке.

В качестве примера на рис. 4-9 показана схема стабилизатора с последовательно включенным регулирующим транзистором и усилителем постоянного тока. Стабилитрон *Д* вырабатывает опорное напряжение. Этот стабилитрон смещен в область пробоя током, протекающим по резистору R_1. Часть выходного напряжения снимается с резистора R_2 и поступает на вход усилителя постоянного тока, собранного на транзисторе T_2 Управляющее напряжение снимается с коллектора транзистора T_2 и поступает на базу последовательно включенного регулирующего транзистора T_1. В результате напряжение между коллектором и эмиттером транзистора T_1 изменяется противоположно изменениям напряжения на нагрузке.

ВИДЕОУСИЛИТЕЛИ

К классу видеоусилителей относятся как усилители, питающие электроннолучевые трубки телевизионных приемников, так и усилители, предназначенные для усиления сигналов, образующихся на выходе передающих телевизионных трубок. В обоих случаях задача усилителя состоит в том, чтобы повысить уровень тока или напряжения слабых сигналов. Большой мощности на выходе видеоусилителя, как правило, не требуется, поэтому видеоусилитель обычно очень похож на предварительный низкочастотный усилитель. Однако в от-

личие от последнего, у которого полоса пропускаемых частот обычно заключена в пределах от 30 *гц* до 20 *кгц*, видеоусилитель должен пропускать всю полосу частот от 0 (постоянный ток) до 6 *Мгц*. Более широкая полоса пропускаемых частот требует применения в видеоусилителях специальных корректирующих элементов (катушек) и более высокочастотных транзисторов. С точки зрения обнаружения неисправностей видеоусилители практически не отличаются от низкочастотных усилителей, поэтому мы рассматриваем и те и другие в одной главе.

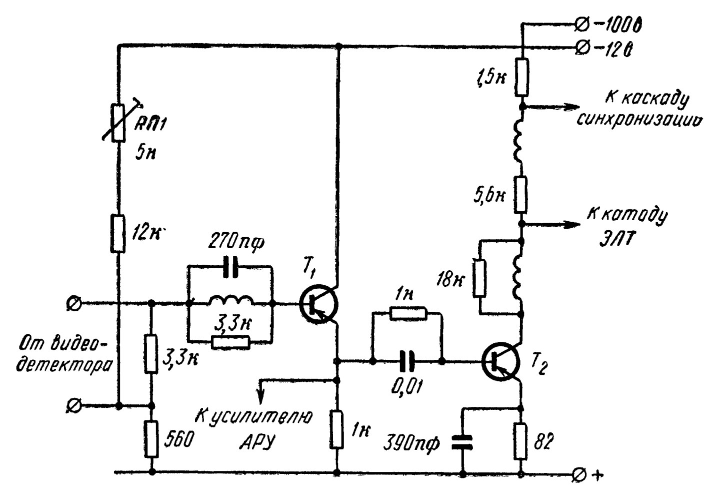


Рис. 4-10.

Схемы видеоусилителей имеют много общего со схемами высококачественных предварительных усилителей низкой частоты. В телевизионных приемниках видеоусилитель обычно содержит два транзистора, один из которых работает в оконечном каскаде, питающем электроннолучевую трубку, а второй — в качестве предварительного видеоусилителя. Сигнал на вход предварительного каскада поступает с видеодетектора. Типовая схема двухкаскадного видеоусилителя показана на рис. 4-10.

Транзистор T_1 в данной схеме включен по схеме с общим коллектором. Такая схема включения оказывается в данном случае предпочтительнее, поскольку она обеспечивает высокое сопротивление нагрузки видеодетектора и питает базу оконечного каскада от источника с низким внутренним сопротивлением.

Общий коэффициент усиления такого усилителя достигает 40 *дб*. Амплитудное значение напряжения выходного сигнала составляет 75 *в*. При стандарте четкости 625 строк ширина полосы пропускания видеоусилителя равно 6 *Мгц* или более в зависимости от того, откуда снимается сигнал промежуточной частоты звукового сопровождения: с выхода видеодетектора или с выхода видеоусилителя.

Таблица 1

Признак неисправности	Возможная причина	Что проверяется
Усилитель полностью неработоспособен	1) Неправильные режимы по постоянному току	1) Схемы питания и транзисторы
	2) Отсутствие входного сигнала	2) Входные цепи
	3) Разрыв цепи прохождения сигнала	3) Проверка на шум и проверка цепей прохождения сигнала. Цепи межкаскадных связей. Громкоговоритель и его подключение
Плохая частотная характеристика	1) Неисправность цепи межкаскадной связи	1) Конденсаторы связи и переходные трансформаторы
	2) Обрыв или уменьшение емкости блокировочного конденсатора эмиттерной цепи	2) Блокировочный конденсатор эмиттерной цепи
	3) Неисправность в схеме выравнивания частотной характеристики	3) Схема выравнивания. Переключатели и детали
Искажения	1) Нелинейные искажения (выходной каскад)	1) Ток коллектора выходного каскада. Напряжение питания. Транзисторы выходного каскада. Цепь *RC*, параллельная выходному трансформатору Высокая температура. Цепь отрицательной обратной связи
	2) Искажения при малых сигналах (предварительные каскады)	2) Режимы по постоянному току. Базовые смещения. Транзисторы. Конденсаторы связи. Блокировочные конденсаторы. Схема выравнивания и ее детали

Продолжение табл. 1

Признак неисправности	Возможная причина	Что проверяется
Шумы	1) Слабый входной сигнал	1) Амплитуда входного сигнала. Входная цепь и ее детали
	2) Неисправный транзистор	2) Транзисторы
	3) Увеличение тока коллектора	3) Режимы по постоянному току
	4) Плохое выравнивание	4) Схема выравнивания
Неустойчивость (генерация)	1) Большое внутреннее сопротивление источника питания	1) Батарея
	2) Неисправность в цепях развязки	2) Электролитические конденсаторы цепей развязки
	3) Неисправность блокировки эмиттерных цепей	3) Электролитические блокировочные конденсаторы эмиттерных цепей
	4) Неисправность цепи отрицательной обратной связи	4) Детали цепи отрицательной обратной связи

Схема с непосредственными связями используется здесь для того, чтобы уменьшить фазовые искажения и получить хорошую форму частотной характеристики в области низких частот. Обычно используется также непосредственная связь с видеодетектором. Это облегчает получение напряжения автоматической регулировки усиления. Требуемое отношение коэффициента усиления к полосе пропускания достигается в схемах видеоусилителей за счет использования транзисторов с высокими значениями граничной частоты.

Одна из трудностей, с которой встречаются конструкторы видеоусилителей, заключается в установке базового смещения оконечного каскада. Небольшие отклонения напряжения смещения приводят к ограничениям, в результате которых теряются мелкие детали изображения, ухудшается синхронизация и возникает шум в канале звукового сопровождения. По этим соображениям вводится ручная регулировка смещения. В схеме, показанной на рис. 4-8, такая регулировка осуществляется переменным резистором *RП1*.

Относительно большое значение напряжения выходного сигнала требует в свою очередь питания транзистора выходного каскада от источника напряжением около 100 *в*. В транзисторных телевизионных приемниках это напряжение получается в результате выпрямления импульсного напряжения, снимаемого с выходного каскада блока

строчной развертки. Таким же образом получаются напряжения, питающие электроды электроннолучевой трубки.

Для получения требуемой формы частотной характеристики в области высоких частот часто используют катушки индуктивности, как, например, катушки, включенные в коллекторную цепь транзистора T_2.

Ремонт видеоусилителей почти не отличается от ремонта усилителей низкой частоты. Видеоусилитель телевизионного приемника обычно удается полностью проверить, не отключая его от общей схемы. Для этого на вход усилителя подается сигнал звуковой частоты и наблюдается изображение, возникающее при этом на экране трубки. При частоте контрольного сигнала около 400 *гц* на экране возникают чередующиеся черные и белые полосы. Максимальная контрастность этих полос в случае правильно работающего усилителя должна достигаться при амплитуде входного сигнала порядка 0,5 *в*. Для того чтобы обнаружить возможные ограничения сигнала, лучше всего использовать осциллограф.

В заключение этой главы приводим сводную таблицу основных причин неисправностей низкочастотных и видеоусилителей и способов их обнаружения (табл. 1).

ГЛАВА ПЯТАЯ

ОБНАРУЖЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В РАДИОЧАСТОТНЫХ УСТРОЙСТВАХ

К радиочастотным относятся сигналы переменного тока с частотой, заключенной в диапазоне примерно от 300 *кгц* до 1 000 *Мгц*. Этот диапазон охватывает частоты, на которых ведутся радиопередачи на длинных, средних и коротких волнах, а также передаются телевизионные программы и высококачественное ЧМ-вещание, и, наконец, часть диапазона СВЧ, простирающегося от 300 до 3 000 *Мгц*.

Конструкции усилителей очень сильно зависят от частоты и вида сигналов, которые они должны усиливать. Правда, для схем, изображенных на бумаге, не так уж велико различие между усилителем промежуточной частоты и усилителями, предназначенными для работы в диапазонах УВЧ и СВЧ. Эти различия проявляются в полной мере лишь в конструкции усилителя. Так, например, усилитель промежуточной частоты содержит катушки, намотанные на ферритовых сердечниках, и обычные конденсаторы, используемые для настройки этих катушек. В то же время усилитель СВЧ может использовать в качестве резонансного контура резонансную линию длиной в несколько миллиметров. Следует отметить также существенные различия в параметрах используемых деталей.

При конструировании усилителей, работающих при частотах, меньших 1 *Мгц*, допускается гораздо большая свобода, чем при конструировании усилителей, предназначенных для работы в диапазонах УВЧ или СВЧ. Переходя границу между диапазонами УВЧ и СВЧ, мы сталкиваемся с новыми деталями. Например, короткий кусочек медного провода, подсоединенный к коллектору транзистора, оказывается, представляет собой нечто значительно большее, чем простой соединительный проводник. В диапазоне СВЧ такой кусочек провода с равным успехом может выполнять функции выходного трансфор-

матора или резонансного контура, а вывод транзистора совместно с емкостями переходов и монтажными емкостями может играть роль полосового фильтра, контура и т. п.

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ИНДУКТИВНОСТЕЙ В ДИАПАЗОНЕ СВЧ

Заметим, что кусочек провода диаметром 0,1 *мм* и длиной 100 *мм* обладает собственной индуктивностью 0,1 *мкгн.* На частоте 1 *Мгц* реактивное сопротивление такого кусочка провода составляет величину, меньшую 1 *ом.* Однако на частоте 500 *Мгц* реактивное сопротивление равно уже 300 *ом*, а на частоте 1 000 *Мгц* оно вдвое больше. Будучи расположенным не там, где надо, такой проводник может вызвать появление положительной или отрицательной обратной связи или же изменить настройку резонансной цепи.

Занимаясь обнаружением неисправностей, необходимо все время помнить, что в схемах, предназначенных для работы в диапазонах СВЧ и УВЧ, любой короткий отрезок проводника может оказаться специально введенным в состав схемы для настройки или стабилизации. Поэтому очень важно ни при каких условиях не перемещать и не изгибать даже самые маленькие кончики проводов.

В некоторых конструкциях СВЧ усилителей сигнал передается от одного каскада к другому через маленькое отверстие, просверленное в металлическом экране, разделяющем эти каскады. Связи и развязки (а также нейтрализация) могут осуществляться также с помощью маленьких проволочных петелек, припаянных в соответствующих точках межкаскадных экранов. Аналогичным образом точка экрана, к которой припаян вывод конденсатора, может играть очень важную роль. Например, это может быть точка, в которой действует напряжение, используемое для нейтрализации емкости между базой и коллектором транзистора. Металлический экран также обладает индуктивностью и в каждой точке такого экрана действует наведенное напряжение сигнала, обладающее определенными амплитудами и фазой.

Необходимо также помнить, что токи СВЧ протекают лишь в поверхностном слое проводника или экрана, т. е. до глубины в несколько микрон. Именно поэтому в СВЧ приборах все экраны и проводники обычно покрываются серебром.

УСИЛИТЕЛИ СРЕДНИХ ЧАСТОТ

Перед тем как переходить к более подробному изучению аппаратуры СВЧ, рассмотрим обычные среднечастотные усилители. Примером здесь может служить усилитель промежуточной частоты радиоприемника или телевизора.

Схема такого усилителя показана на рис. 5-1. Транзистор здесь включен по схеме с общим эмиттером. Входной сигнал подается на базу через трансформатор $Тр_1$ и снимается с коллектора через трансформатор $Тр_2$.

Режим транзистора по постоянному току устанавливается обычным способом, т. е. база транзистора соединена с делителем напряжения, состоящим из резисторов R_1 и R_2. Это соединение осуществляется через нижнюю половину вторичной обмотки трансформатора $Тр_1$. Температурная стабилизация осуществляется эмиттерным резистором R_3. Параметры деталей подобраны таким образом, чтобы усилитель работал в режиме А.

На схеме рис. 5-1 указаны также величины напряжений в отдельных точках, отсчитанные от общей шины, соединенной с положительным полюсом источника питания. Напряжение на эмиттере транзистора равно — 0,9 *в*, на базе — 1,15 *в* и на коллекторе — 7,15 *в*. Следовательно, эмиттерный переход транзистора находится под прямым смещением величиной 250 *мв* и это вызывает протекание эмиттерного тока. Напряжение между коллектором и эмиттером равно 7,15—0,9= =6,25 *в*. Можно посчитать величину эмиттерного тока $I_э$. Этот ток вызывает на резисторе сопротивлением 680 *ом* падение напряжения

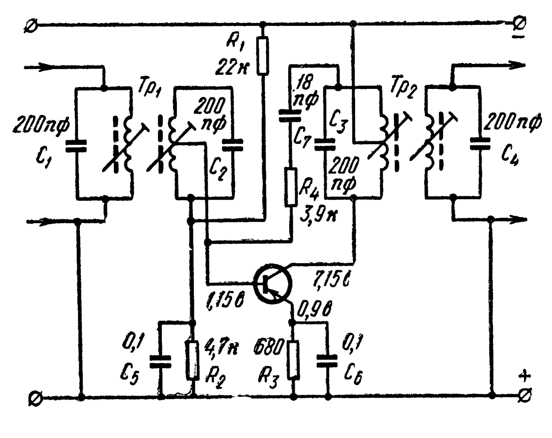


Рис. 5-1.

0,9 *в*. Следовательно, ток эмиттера равен 1,3 *ма*, а коллекторный ток будет несколько меньшим.

Условия прохождения сигнала также достаточно ясны. Согласование сопротивлений на входе и на выходе осуществляется за счет того, что вторичная обмотка трансформатора $Тр_1$ и первичная обмотка трансформатора $Тр_2$ имеют отводы. Ширина полосы пропускания усилителя зависит от входного и выходного сопротивлений, а также от емкости конденсаторов, подсоединенных к обмоткам трансформатора (т. е. C_1, C_2, C_3 и C_4). Если бы обмотки трансформаторов не имели отводов, требуемая ширина полосы пропускания могла бы быть достигнута лишь при весьма больших значениях емкости этих конденсаторов. Наличие отводов позволяет удовлетворить требованиям к ширине полосы пропускания при относительно небольшой величине емкости конденсаторов. Нижний вывод вторичной обмотки трансформатора $Тр_1$ замкнут по переменному току с общей плюсовой шиной конденсатором C_5. Конденсатор C_6 замыкает по переменному току эмиттер транзистора и общую плюсовую шину.

НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ

Теперь рассмотрим еще одно важное обстоятельство, связанное с усилителями радиочастот: обратная связь между коллектором и базой транзистора. Обратная связь такого типа оказывается положи-

тельной или «регенеративной». Если ничего не сделать для ее нейтрализации, усилитель может превратиться в генератор.

В схеме, показанной на рис. 5-1, нейтрализацию осуществляет включенная между коллектором и базой цепочка, состоящая из конденсатора C_7 и резистора R_4. Как видно из схемы, сигнал обратной связи снимается с противоположного по отношению к коллектору вывода трансформатора $Тр_2$. Благодаря тому что средняя точка этой обмотки заземлена по переменному току, сигналы на противоположных концах обмотки имеют противоположные фазы. Это означает в свою очередь, что сигнал, поступающий на базу по цепи нейтрализации, противоположен по фазе сигналу, поступающему на базу по внутренней цепи обратной связи. Оба эти сигнала противодействуют друг другу, и результирующий сигнал на базе транзистора равен нулю.

Последовательное соединение конденсатора и резистора позволяет точно подобрать фазу нейтрализующего сигнала. Эффект нейтрализации был бы неполным, если бы в цепи нейтрализации использовался один только конденсатор.

Предотвращать влияние внутренней емкости транзистора можно и другими способами, отличными от только что описанного. Однако современные высококачественные транзисторы обладают весьма малыми межэлектродными емкостями, так что построенные на них схемы вообще не требуют нейтрализации.

НАСТРОЙКА РЕЗОНАНСНЫХ КОНТУРОВ

Обмотки трансформаторов в схеме на рис. 5-1 настраиваются либо в точности на среднюю частоту полосы пропускания, либо на некоторые специально выбранные частоты в пределах этой полосы. Последнее делается в тех случаях, когда надо расширить полосу. При настройке высокочастотных усилительных каскадов (сюда мы, конечно, относим и каскады промежуточной частоты) нужно сначала точно выяснить, следует ли настраивать все контуры на одну и ту же частоту или на различные частоты, чтобы расширить полосу пропускания. Если при расчете каскада была предусмотрена настройка контуров на разные частоты, а мы настроим все контуры такого каскада на одну и ту же частоту, коэффициент усиления может стать чересчур большим и это повлечет за собой самовозбуждение. При тех же условиях самовозбуждение может и не возникнуть, но полоса пропускания окажется чересчур узкой и это повлечет за собой снижение качества воспроизведения звука или качества изображения в телевизионных приемниках. В последнем случае сужение полосы пропускания приведет к исчезновению мелких деталей телевизионного изображения. Иногда расширения полосы пропускания добиваются шунтируя соответствующие цепи резистором. Это, конечно, снижает усиление, но зато расширяется полоса пропускания.

В рассматриваемой схеме каждый контур настраивается самостоятельно. Так бывает далеко не всегда. Если связь между контурами достаточно велика, то оба контура настраиваются одним и тем же сердечником. В других случаях усилительный каскад может содержать лишь один настраиваемый контур. Тогда для подачи сигнала или для снятия его используется конденсатор.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ НАСТРАИВАЕМЫХ КОНТУРОВ

В каскадах промежуточной частоты в радиоприемниках с амплитудной и частотной модуляцией часто используются два настраиваемых контура или два трансформатора, соединенных последовательно. Такой каскад способен усиливать сигналы двух различных частот, а именно промежуточной частоты канала АМ и промежуточной частоты

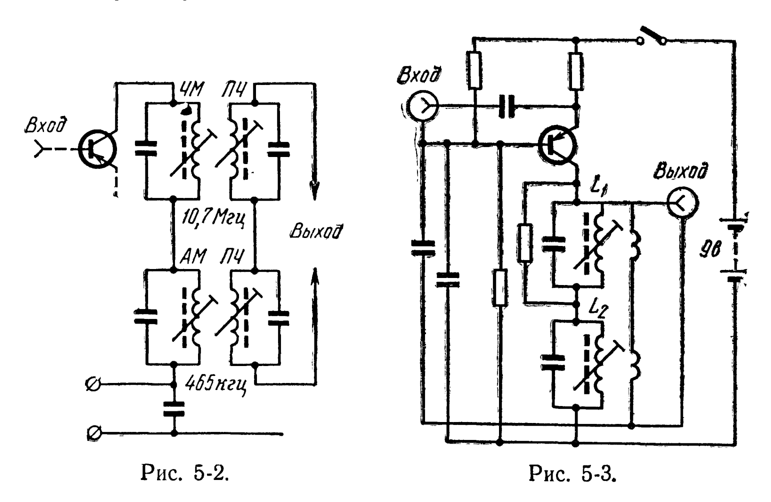


Рис. 5-2. Рис. 5-3.

канала ЧМ. Подобная схема показана на рис. 5-2. Здесь трансформаторы промежуточной частоты каналов АМ и ЧМ соединены последовательно и включены в коллекторную цепь. Аналогичным способом их можно было бы включить и в цепь базы.

Ту же самую идею можно осуществить и в УВЧ усилителях, например, построить транзисторный усилитель (рис. 5-3), который без переключения мог бы усиливать сигналы первого и третьего телевизионных каналов. Можно пойти и дальше, т. е. построить усилитель, который работал бы во всех телевизонных каналах.

В любом случае контур, настроенный на самую высокую частоту, располагается ближе всего к соответствующему электроду транзистора. Так, в схеме, показанной на рис. 5-2, контур промежуточной частоты канала ЧМ настраивается на частоту 10,7 *Мгц*. Этот контур соединен непосредственно с коллектором. Вслед за ним включен контур промежуточной частоты канала АМ, настроенный на частоту 470 *кгц*. Аналогичным образом в схеме на рис. 5-3 катушка L_1 относится к третьему телевизионному каналу, а катушка L_2 — к первому.

Способ последовательного включения настроенных контуров оказывается возможным потому, что частоты настройки сильно отличаются друг от друга. Когда усилитель работает на низкой частоте, контур, настроенный на более высокую частоту, вносит относительно небольшое реактивное сопротивление, практически не уменьшающее

коэффициент усиления на низшей частоте. Наоборот, когда усилитель работает на высшей из двух частот, емкость контура, настроенного на низшую частоту, имеет малое реактивное сопротивление. При настройке такого каскада сначала настраивается контур более низкой частоты, а затем более высокой. Если поступать наоборот, то настройка контура более высокой частоты собьется при последующей настройке контура более низкой частоты.

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Схема широкополосного усилителя другого типа показана на рис. 5-4. Большая ширина полосы пропускания достигается здесь за счет включения в коллекторную цепь широкополосного трансформатора, выполненного на специальном ферритовом сердечнике. В этом усилителе используют транзистор, включенный по схеме с общей базой.

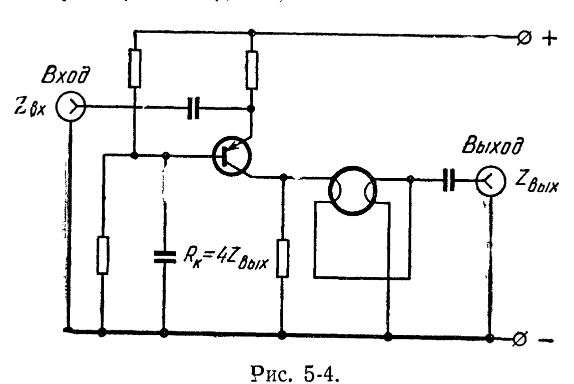


Рис. 5-4.

Поскольку ток сигнала, подводимого к эмиттеру, примерно равен току сигнала, снимаемого с коллектора, коэффициент усиления по мощности усилителя примерно равен $R_к/Z_{вх}$, где $R_к$ — сопротивление коллекторной нагрузки транзистора, а $Z_{вх}$ — входное сопротивление усилителя. В усилителях рассматриваемого типа входные и выходные сопротивления примерно равны. Это означает, что если коэффициент трансформации широкополосного трансформатора равен 1 : 1, то и коэффициент усиления по мощности также оказывается равным 1.

На практике, однако, трансформаторы рассчитываются таким образом, чтобы сопротивление нагрузки пересчитывалось в отношении 4 : 1. Это означает, что сопротивление коллекторной нагрузки оказывается равным $4Z_{вых}$, а коэффициент усиления усилителя по мощности оказывается равным 4. Требуемое произведение коэффициента усиления на ширину полосы пропускания устанавливается изменением коэффициента трансформации трансформатора. Коэффициент усиления можно увеличить за счет использования нескольких усилительных каскадов. Используя транзисторы с большими значениями граничной частоты, можно строить усилители описанного типа, работающие в диапазонах УВЧ и СВЧ.

УСИЛИТЕЛЬ СВЧ С РЕЗОНАНСНОЙ ЛИНИЕЙ

Как уже отмечалось, при конструировании усилителей СВЧ используются несколько иные методы.

Например, в данном усилителе вместо обычного настраиваемого контура используется резонансная линия. В аппаратуре СВЧ используются также и катушки, однако для настройки подобных усилителей

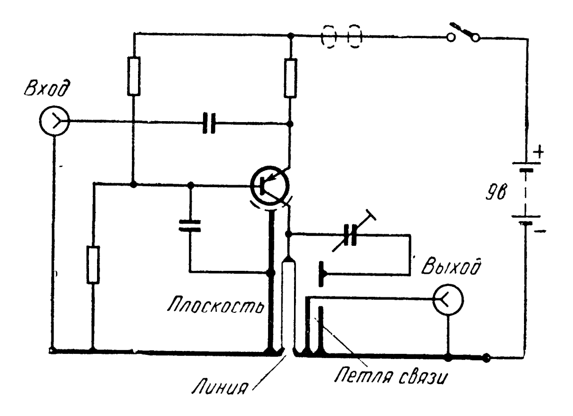


Рис. 5-5.

требуются чрезвычайно малые значения индуктивности и емкости. Поэтому сама настройка связана с определенными трудностями. Большинство читателей знают, что частота, на которую настроен обычный контур, равна $159/\sqrt{LC}$, где частота измеряется в мегагерцах, индуктивность — в микрогенри, а емкость — в микрофарадах. Проведя несложные расчеты по этой формуле, можно убедиться, насколько малые значения L и C потребуются, чтобы настроиться, например, на частоту английского телевизионного канала 65, равную 823,5 *Мгц*. Если усилитель сконструирован не особенно тщательно, индуктивности соединительных проводников и паразитные емкости монтажа окажутся значительно больше вычисленных значений L и C.

Резонансная линия, заменяющая LC-контур, представляет собой линию передачи заданной длины. Любая линия передачи, длина которой определенным образом связана с частотой настройки, представляет собой эквивалент LC-контура. Если линия замкнута на конце (как это сделано в описываемом усилителе), то в ней будет наблюдаться резонанс, когда длина линии оказывается равной $^1/_4$, $^3/_4$, $^5/_4$ и т. д. от длины волны. Если линия разомкнута на конце, то резонанс будет наблюдаться в тех случаях, когда длина линии равна $^1/_2$, $^3/_2$, $^5/_2$ и т. д. от длины волны. Физическая длина настроенной линии передачи оказывается связанной, таким образом, с длиной волны, на которую осуществляется настройка.

Однако оказывается возможным, сохраняя резонансную длину линии, значительно уменьшить ее физическую длину. Этого можно достичь, укорачивая линию и подключая к ней конденсатор. Используя подобный способ, можно получить полуволновую линию, пригод-

ную для всех СВЧ телевизионных каналов длиной всего лишь 5 *см.* Настройка на данный СВЧ канал осуществляется в этом случае простым изменением емкости конденсатора, подключенного к концу линии. Изменяя емкость конденсатора, мы изменяем электрическую длину линии, оставляя неизменной ее физическую длину.

В практических конструкциях один конец полуволновой линии нагружается на переменный или подстроечный конденсатор, а другой конец, например, на емкость коллекторного перехода транзистора. Здесь также используют подстроечный конденсатор для компенсации возможных изменений емкости коллекторного перехода.

Точно таким же образом работает и четвертьволновая линия. Однако здесь емкостная нагрузка нужна лишь на одном конце, поскольку другой конец при всех условиях замыкается накоротко. Разомкнутый конец обычно подсоединяется к коллектору транзистора. Емкость коллекторного перехода составляет часть емкостной нагрузки, а другая часть этой нагрузки выполняется в виде подстроечного или переменного конденсатора.

Вообще говоря, четвертьволновая линия описанного типа короче полуволновой линии и более удобна для использования в транзисторных схемах, поскольку сам коллекторный вывод может играть роль внутреннего замкнутого проводника линии. С другой стороны, четвертьволновые линии менее удобны в ламповых схемах, поскольку проводник, соединяющий линию со штырьком лампы, сам по себе может работать в качестве четвертьволновой линии. Поэтому в ламповых схемах чаще используются полуволновые линии.

Принципиальная схема усилителя с настроенной линией показана на рис. 5-5. На этом рисунке видна полость, в которой расположены резонансная линия и петля связи.

ВХОДНЫЕ КАСКАДЫ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СВЧ-КАНАЛОВ

Резонансные линии находят применение также в каскадах ВЧ и преобразователей частоты телевизионных каналов СВЧ. Принципиальная схема такого каскада показана на рис. 5-6. Как видно из рисун-

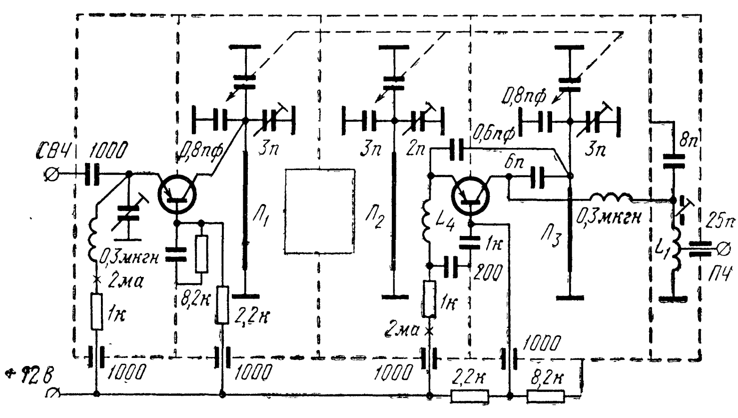


Рис. 5-6.

ка, коллектор первого транзистора (усилитель ВЧ соединен) с первой настроенной линией $Л_1$. Сигнал, образующийся в этой линии, через элементы связи передается в линию $Л_2$. Из линии $Л_2$ сигнал поступает в цепь эмиттера второго транзистора (преобразователь частоты). В данном случае передача сигнала осуществляется с помощью линии $Л_4$. Столь сложная организация передачи сигналов нужна для того, чтобы обеспечить ширину полосы пропускания, достаточную для передачи телевизионных сигналов.

Как видно из рисунка, оба транзистора включены по схеме с общей базой. Базы транзисторов заземлены по переменному току, сигналы поступают к эмиттеру и снимаются с коллекторов.

Второй транзистор одновременно является также и генератором (т. е. гетеродином преобразователя частоты). Настройка генератора осуществляется с помощью резонансной линии $Л_3$. Сигнал промежуточной частоты выделяется катушкой L_1 и передается в канал промежуточной частоты приемника. Работа гетеродина более подробно будет рассмотрена в гл. 7.

ВХОДНЫЕ КАСКАДЫ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ УВЧ-КАНАЛОВ

Типовая схема входного блока телевизионного приемника приведена на рис. 5-7. Здесь транзистор T_1 представляет собой усилитель ВЧ и включен по схеме с общей базой. Транзистор T_2 работает в схеме смесителя, а транзистор T_3 в схеме гетеродина. Настройка осуществляется с помощью переключаемых катушек. По мере переключения последовательно подключаются дополнительные катушки, общая индуктивность которых увеличивается при переходе к каналам с меньшей частотой.

Четыре переключателя барабанного типа коммутируют катушки индуктивности. Переключатель $П_4$ коммутирует индуктивность в эмиттерной цепи усилителя ВЧ, $П_3$ — индуктивность в коллекторной цепи этого усилителя, $П_2$ — входную индуктивность смесителя, $П_1$ — индуктивность контура гетеродина. Все эти переключатели расположены на одном и том же барабане и управляются одной и той же ручкой выбора канала.

Широкополосная связь между усилителем и смесителем осуществляется с помощью петли, помеченной на рисунке буквой M. Транзистор смесителя включен по схеме с общим эмиттером (конденсатор C_{14} заземляет эмиттер этого транзистора по переменному току). Обратная связь гетеродина осуществляется за счет включения конденсатора C_{18} между коллектором транзистора T_3. Более подробно работа такого генератора будет рассмотрена в следующей главе.

На схеме показаны также конденсаторы, образующие вместе с катушками индуктивности настраиваемые контуры. Полная емкость каждого контура составляется из конденсаторов, показанных на схеме, межэлектродных емкостей транзисторов и паразитных емкостей монтажа. Окончательная настройка контуров для каждого канала осуществляется подстроечными конденсаторами. Гетеродин подстраивается вручную с помощью конденсатора точной настройки C_{19}.

В самое последнее время начался выпуск переключателей телевизионных каналов, объединяющих в себе как каналы СВЧ, так и ка-

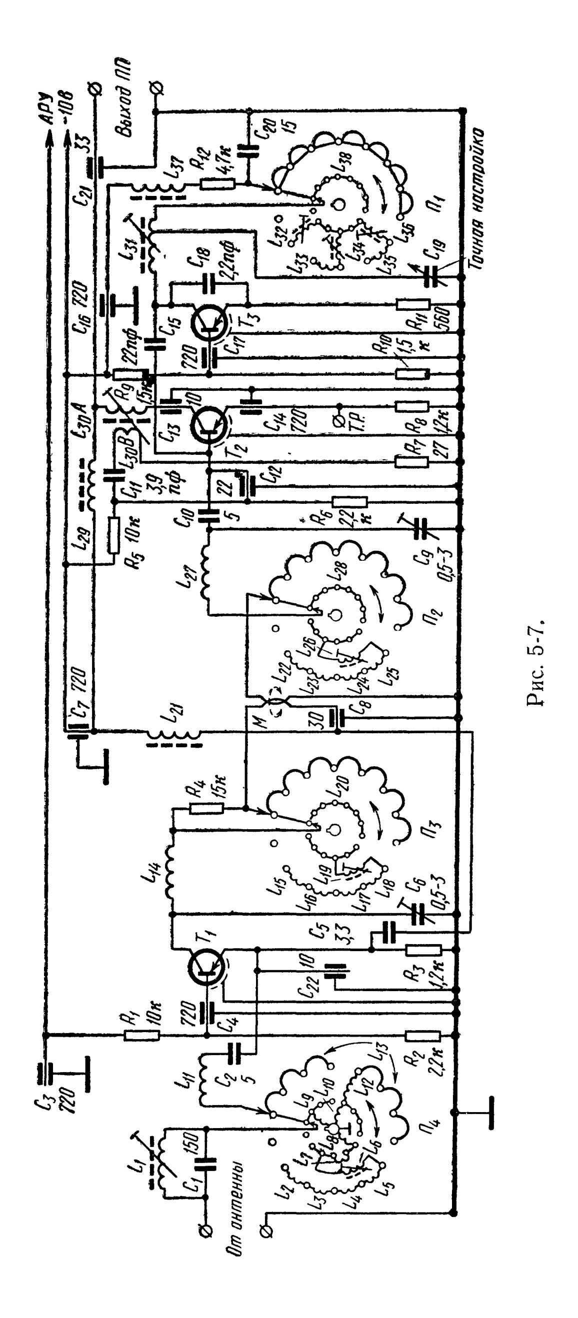


Рис. 5-7.

налы УВЧ. В подобных блоках используется широкополосный усилитель ВЧ, перекрывающий весь диапазон телевизионного вещания.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ РЕГУЛИРОВКА УСИЛЕНИЯ

В схеме, показанной на рис. 5-8, имеется также цепь автоматической регулировки усиления (АРУ). С помощью этой цепи изменяется коэффициент усиления усилителя ВЧ. По цепи автоматической регулировки усиления на базу транзистора T_1 поступает отрицательное напряжение смещения, обеспечивающее протекание через эмиттерный переход нормального прямого тока.

В то же время имеется возможность изменять коэффициент усиления усилителя ВЧ, изменяя прямой ток эмиттерного перехода транзистора этого усилителя. Последнее в свою очередь достигается за счет изменения напряжения базового смещения. Если это напряжение становится менее отрицательным, уменьшается коллекторный ток, а вместе с этим уменьшается и коэффициент усиления.

Коэффициент усиления по току также можно уменьшить, увеличивая прямой ток эмиттерного перехода и включая резистор с подходящим сопротивлением последовательно с коллекторной нагрузкой. Теперь, если напряжение базового смещения сделать более отрицательным, коллекторный ток увеличится, но увеличение коллекторного тока повлечет за собой увеличение падения напряжения на последовательно включенном резисторе.

В результате напряжение на коллекторе уменьшится, что повлечет за собой уменьшение коэффициента усиления по току транзисторного каскада.

Итак, коэффициент усиления транзисторного каскада изменяется при изменении коллекторных тока и напряжения. Это может быть использовано при построении схем автоматической регулировки усиления.

В каскадах ВЧ телевизионных приемников в настоящее время используется второй из описанных методов. Современные СВЧ транзисторы конструируются таким образом, что их характеристики позволяют осуществлять автоматическую регулировку усиления способом, близким, но все же несколько отличным от второго из описанных способов.

Недавно был открыт механизм управления, который широко используется в настоящее время. Сущность этого механизма состоит в следующем. Если ток коллектора увеличивается за счет увеличения прямого тока эмиттерного перехода, в области коллекторного перехода повышается концентрация дырок, что в свою очередь вызывает увеличение напряженности электрического поля. В результате область перехода как бы расширяется и время прохождения носителей заряда через переход соответственно увеличивается. Последнее вызывает уменьшение коэффициента усиления транзистора.

С практической точки зрения подобный метод регулировки усиления, все равно ручной или автоматической, обеспечивает минимальную расстройку резонансных цепей и плавное управление в достаточно широком диапазоне. Таким образом, создается возможность управлять величиной коэффициента усиления усилителей СВЧ с тем же успехом, что и усилителей УВЧ. В то же время ранее существовавшие методы оказывались практически неприменимыми в усилителе СВЧ,

поскольку изменение режима транзисторов по постоянному току сопровождалось изменениями межэлектродных емкостей, а это в свою очередь приводило к полной расстройке резонансных цепей.

ПРОВЕРКА УСИЛЕНИЯ

Коэффициент усиления усилителя можно проверить с помощью источника сигнала и индикатора сигнала. Сначала источник соединяют непосредственно с индикатором. Уровень сигнала устанавливают таким образом, чтобы стрелка индикатора отклонялась заметно, но на небольшую величину. Затем подают сигнал на вход проверяемого усилителя, а выход усилителя соединяют с индикатором.

Если усилитель работоспособен, то второе показание индикатора, естественно, должно быть больше первого. Коэффициент усиления будет численно равен отношению уровня сигнала на выходе усилителя к уровню сигнала на его входе. Выполняя подобные измерения, необходимо следить за тем, чтобы входное и выходное сопротивления усилителя были равны выходному сопротивлению источника сигналов.

Другой метод определения коэффициента усиления состоит в том, чтобы вначале установить уровень сигнала источника, обеспечивающий положение стрелки индикатора, подсоединенного к выходу источника, примерно посередине шкалы. Затем сигнал от источника подается на вход усилителя через аттенюатор, включенный между генератором сигнала и входом усилителя. Аттенюатор регулируется до тех пор, пока стрелка индикатора, подключенного к выходу усилителя, не установится в то же самое положение.

Затухание, вносимое аттенюатором, будет численно равно коэффициенту усиления.

Подобным методом можно проверять любой усилитель. Получаемая при этом точность измерений зависит от точности градуировки аттенюатора и от того, насколько хорошо согласуются сопротивления на входе и выходе аттенюатора. Наиболее удобен здесь переключаемый аттенюатор, часто удается достигнуть довольно высокой точности измерений при использовании выходного аттенюатора генератора сигналов.

МАЛЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ

Если усилитель настроен правильно, то уменьшение коэффициента усиления может произойти вследствие изменения характеристик транзисторов. Это может случиться в результате короткого замыкания при измерении напряжения на электродах транзистора или в результате того, что батарея по ошибке была подключена к прибору с противоположной полярностью. Во всех случаях изменение характеристик не всегда можно обнаружить, проверяя режимы по постоянному току.

Известны случаи, когда перегрузка или повреждение транзистора в усилителях УВЧ сопровождались потерей усиления лишь в высокочастотной области спектра без каких-либо изменений режима каскада по постоянному току. Единственный удовлетворительный способ обнаружения такой неисправности состоит в проверке транзистора. Такую проверку в свою очередь можно осуществить, заменив транзистор на заведомо исправный либо проверив его с помощью прибора, позволяющего контролировать работу транзистора на высоких частотах.

Уменьшение коэффициента усиления может наблюдаться также вследствие обрыва или уменьшения емкости блокировочного конденсатора эмиттерной цепи в каскадах, собранных по схеме с общим эмиттером.

Коэффициент усиления каскада может уменьшиться также вследствие действия схемы АРУ, если проверяемый каскад входит в состав радиоприемника или аналогичного прибора. Чтобы избежать ошибок, необходимо на время измерений отключать или замыкать накоротко цепь АРУ.

Уменьшение коэффициента усиления в усилителях УВЧ и СВЧ может произойти из-за повреждения транзистора, сказывающегося при его работе на высоких частотах. Такое может случиться и с конденсатором, когда потери в конденсаторе увеличиваются именно на высоких или сверхвысоких частотах. Проверить подобную неисправность исключительно трудно. Поэтому если есть подозрения, то проще всего заменить конденсатор на заведомо исправный, следя при этом за тем, чтобы новый конденсатор был припаян к тем же самым точкам, а выводы нового конденсатора имели ту же самую длину и были изогнуты точно таким же образом, что и выводы заменяемого конденсатора. Сказанное справедливо для всех случаев, когда заменяется какая-либо деталь УВЧ или СВЧ прибора. После замены детали необходимо проверить настройку прибора и, если необходимо, подстроить его.

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ УСИЛИТЕЛЯ СРЕДНИХ ЧАСТОТ

Неустойчивость в усилителях средних частот (УВЧ- или УПЧ-радиоприемников) почти всегда возникает вследствие обрыва в цепях блокировочных конденсаторов. Если замечено, однако, что каскад самовозбуждается лишь при определенных положениях органов настройки трансформатора ПЧ или катушки, следует обратить внимание на элементы цепи нейтрализации.

Причиной неустойчивости может оказаться изменение параметров конденсатора или резистора цепи нейтрализации или же обрыв в этой цепи.

Если обнаружено, что самовозбуждение в канале промежуточной частоты можно снять путем расстройки какого-либо из контуров, не следует этим ограничиваться. Поступая так, мы не ликвидируем причину неисправности и лишь ухудшим характеристики каналов, что в свою очередь вызовет искажения проходящего через усилитель сигнала. Необходимо во всех случаях отыскивать истинную причину неисправности.

В только что описанном случае расстройка контуров лишь скрывает истинную причину.

В других случаях самовозбуждение может возникнуть вследствие ненормально большого коэффициента усиления, что в свою очередь может иметь место в результате неисправности в цепи АРУ, изменения параметров цепи базового смещения или обрыва в цепи стабилизирующей обратной связи.

Кратковременная перегрузка может вызвать увеличение межэлектродной емкости транзистора, а это в свою очередь может оказаться причиной самовозбуждения.

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ УВЧ- И СВЧ-УСИЛИТЕЛЕЙ

Если самовозбуждение возникает в УВЧ или СВЧ усилителях, особое внимание необходимо обратить на экранировку между входными и выходными цепями. На высоких частотах достаточно лишь небольшой емкости между входом и выходом усилителя, чтобы он возбудился.

Усилители подобного типа также весьма чувствительны к согласованию входных и выходных сопротивлений. Обычно усилители рассчитывают на активную нагрузку, и если происходит рассогласование, то подключение входных или выходных коаксиальных кабелей сопровождается введением в нагрузку усилителя реактивных составляющих. Это одна из наиболее часто встречающихся причин самовозбуждения.

Обнаружить подобную неисправность можно, изменяя длину коаксиальных кабелей, подключенных ко входу или выходу усилителя. Если при определенной длине кабеля самовозбуждение прекращается, причина явления кроется в отсутствии согласования.

Если антенный усилитель установлен в непосредственной близости, например, от телевизионного приемника, то при наличии весьма большого усиления может возникнуть самовозбуждение. Неисправность такого типа может возникнуть и в том случае, если кабели не согласованы с антенной.

Усилители УВЧ и СВЧ, установленные в непосредственной близости от наружной антенны, обычно не служат причиной самовозбуждения описанного типа, поскольку расстояние между усилителем и телевизором при таких условиях достаточно велико для того, чтобы могла возникнуть обратная связь.

ПАРАЗИТНЫЕ СИГНАЛЫ

Следует заметить, что УВЧ и СВЧ транзисторы могут генерировать паразитные сигналы на частотах, сильно отличающихся от частоты настройки усилителя.

Хоть и нечасто, но встречаются случаи, когда подобные паразитные колебания образуют совместно с одной из гармоник гетеродина сигнал промежуточной частоты. Подобное явление может наблюдаться, например, когда в цепь антенны включен предварительный антенный УВЧ или СВЧ усилитель. Возможен и более сложный случай, например, когда частота паразитных сигналов, возникающих в усилителе, случайно совпадает с частотой другого радио- или телевизионного канала. Во всех описанных случаях возникают помехи.

Испытания показали, что при определенных условиях помехи такого типа могут вызываться как усилителем, установленным в непосредственной близости от внешней антенны, так и усилителем, установленным в непосредственной близости от телевизора у противоположного конца, идущего от антенны кабеля. Интереснее всего то, что паразитные колебания могут возникать лишь в том случае, когда одновременно включены и антенный усилитель и телевизор. Если включить только усилитель и выключить телевизор, паразитные колебания отсутствуют.

Описанную неисправность часто удается полностью устранить, заключая провода питания усилителя в специальные ферритовые эк-

раны. Действие таких экранов состоит в том, что индуктивность проводов питания увеличивается и эти провода начинают играть роль высокочастотных фильтров.

Паразитные колебания могут возникнуть из-за чрезмерно большой индуктивности вывода базы транзистора, включенного по схеме с общей базой.

Смена конденсатора, включенного в цепь базы, может привести к срыву колебаний. Лучше всего в таких случаях использовать малоиндуктивный керамический проходной конденсатор.

Наконец, следует обратить внимание на возможность самовозбуждения УВЧ и СВЧ усилителей и переключателей телевизионных каналов, возникающую в результате смещения монтажных проводников, экранов и вообще элементов механической конструкции. Так, например, переключатель телевизионных каналов, работающий со снятой нижней крышкой, может иметь склонность к самовозбуждению. Настройка блока при снятой крышке также может оказаться нарушенной.

ПЕРЕГРУЗКИ И ПАРАЗИТНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

Транзисторные усилители весьма чувствительны к перегрузкам, возникающим в тех случаях, когда входной сигнал превышает величину, определяемую параметрами транзистора или расчетными данными схемы. Перегрузка усилителей ВЧ может сопровождаться явлениями паразитной модуляции.

Это означает, что когда через усилитель проходит одновременно несколько сигналов различных частот, эти сигналы могут модулировать друг друга, в результате чего на выходе образуется паразитный модулированный сигнал.

В телевизорах, например, подобное явление проявляется как наложение звукового сопровождения на изображение и сигналов изображения на звуковое сопровождение. Изображение при этом начинает дрожать и на нем возникают полосы, перемещающиеся в такт со звуком, а в громкоговорителе появляется шум, характер которого меняется при изменениях изображения на экране. При других входных сигналах паразитная модуляция может проявляться каким-либо другим образом.

Описанный эффект еще более усиливается в случаях малых токов эмиттерного перехода транзистора, часто может иметь место либо под действием чрезмерно большого сигнала АРУ, либо в результате изменения параметров элементов цепи базового смещения.

Если неисправность наблюдается лишь при чрезмерно больших значениях входного сигнала, необходимо принять меры к снижению уровня входного сигнала, например с помощью аттенюатора. При этом нужно следить за тем, чтобы выходное сопротивление аттенюатора было согласовано с входным сопротивлением усилителя.

Транзисторные переключатели телевизионных каналов УВЧ и СВЧ, а также транзисторные усилители могут создавать паразитную модуляцию в тех случаях, когда подключенная к их входам антенна рассчитана на прием слишком многих сигналов в широкой полосе частот. Поскольку входные каскады усилителей и переключателей телевизионных каналов представляют собой широкополосные усилительные каскады, суммарный сигнал, принимаемый антенной, может

Таблица 2

Признак неисправности	Возможная причина	Что проверяется
Усилитель полностью неработоспособен	1) Неправильные режимы по постоянному току	1) Режимы по постоянному току и транзисторы
	2) Сбита настройка	2) Обмотки катушек и трансформаторов, настроечные конденсаторы
	3) Механические смещения деталей	3) Механический монтаж
	4) Сигнал не проходит	4) Цепи межкаскадных связей
Мал коэффициент усиления	1) Неисправный транзистор	1) Транзисторы и режимы по постоянному току
	2) Обрыв в цепи блокировочного конденсатора	2) Блокировочные конденсаторы в эмиттерных или базовых цепях
	3) Механические смещения деталей	3) Механический монтаж
Самовозбуждение	1) Разрыв в цепи конденсатора развязки	1) Конденсаторы развязки
	2) Разрыв в цепи нейтрализации	2) Элементы цепи нейтрализации
	3) Неисправность в цепи АРУ	3) Схема и детали цепи АРУ
	4) Несогласованная или реактивная нагрузка (преимущественно в УВЧ и СВЧ усилителях)	4) Согласование на входе и на выходе
	5) Паразитная обратная связь	5) Экранировка и расположение входных и выходных проводников
	6) Паразитная генерация (в УВЧ и СВЧ аппаратуре)	6) Проходные конденсаторы и ферритовые экраны (см. текст)
	7) Механические смещения в монтаже	7) Расположение и тип замененных деталей

Продолжение табл. 2

Признак неисправности	Возможная причина	Что проверяется
Перегрузки	1) Неправильные режимы по постоянному току 2) Слишком велик входной сигнал	1) Транзисторы и режимы по постоянному току 2) Уровень входного сигнала

вызвать перегрузку такого каскада, сопровождающуюся паразитной модуляцией. Решение здесь состоит в том, чтобы тем или иным способом отфильтровать ненужные сигналы на выходе усилителя.

Перечень наиболее характерных неисправностей усилителей УВЧ и СВЧ приведен в табл. 2.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ОБНАРУЖЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ГЕНЕРАТОРАХ

Генератор можно рассматривать как усилитель, у которого часть выходного сигнала передается на вход. При этом фаза устанавливается таким образом, чтобы после прохождения через усилительный каскад часть сигнала, поданная обратно на вход, суммировалась с выходным сигналом. Колебания возникают и поддерживаются в том случае, если полный коэффициент усиления в замкнутом контуре оказывается равным или большим 1.

Транзисторные генераторы встречаются в самой разнообразной аппаратуре: в приемниках и передатчиках, в блоках развертки телевизоров и магнитофонах, в генераторах звуковой частоты и генераторах стандартных сигналов. Форма колебаний, вырабатываемых генератором, зависит от его назначения. Например, генераторы, используемые в радиоприемниках и магнитофонах, вырабатывают синусоидальные колебания. В радиоприемнике генератор выполняет функции гетеродина, а в магнитофоне генератор используется для создания переменного напряжения подмагничивания при записи и стирании. В телевизорах или осциллографах генераторы используются для создания пилообразных напряжений развертки.

В задачи данной главы и всей данной книги не входит систематическое изучение транзисторных схем. Здесь мы рассмотрим только, почему правильно построенная и рассчитанная схема вдруг перестает работать. Однако чтобы ответить на этот вопрос, мы должны рассмотреть хотя бы основные принципы, на которых основаны процессы возникновения и поддержания колебаний.

ГАРМОНИЧЕСКИЕ *LC*-ГЕНЕРАТОРЫ

В наиболее часто встречающихся схемах генераторов синусоидальных колебаний (гармонических) используются настроенные контуры. Именно такие генераторы выполняют функции гетеродинов радиоприемников или генераторов стирания в магнитофонах. В дальнейшем мы ограничимся этими двумя примерами.

Простейшая схема генератора с настроенным контуром показана на рис. 6-1. Здесь сигнал, выделяемый в коллекторной цепи с помощью настроенного контура, составленного из катушки индуктивности L_2 и конденсатора C_2, передается в цепь базы с помощью катушки L_1, которая вместе с катушкой L_2 составляет трансформатор Tp_1. Выводы катушек подключаются таким образом, чтобы в схеме имела место положительная обратная связь.

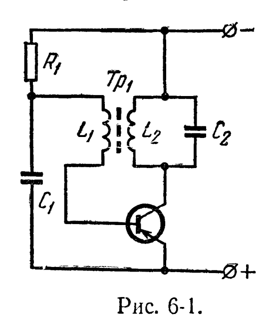


Рис. 6-1.

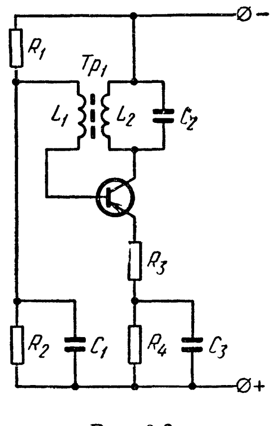


Рис. 6-2.

С помощью резистора R_1 в эмиттерном переходе транзистора создается небольшой прямой ток, а конденсатор C_1 соединяет по переменному току с корпусом свободный вывод катушки L_1. Поскольку в образованном таким образом контуре обратной связи коэффициент усиления превышает 1, после подключения схемы к источнику питания в ней быстро возникают колебания. Амплитуда колебаний поддерживается постоянной либо за счет ограничения, вносимого транзистором, либо благодаря тому, что в течение каждого полупериода колебаний имеет место напряжение смещения, запирающее транзистор.

В схеме на рис. 6-1 транзистор вносит ограничения, потому что сигнал, передаваемый из коллекторной цепи в цепь базы, увеличивает ток эмиттерного перехода. Ток коллектора может возрастать лишь до определенного предела, после чего возникает ограничение и амплитуда сигнала остается постоянной.

Форма сигнала, вырабатываемая генератором с ограничением, может сильно искажаться. Поэтому во всех случаях, когда требуются малые нелинейные искажения, генераторы с ограничением не применяют.

Вместо этого используют схемы, в которых управление амплитудой сигнала осуществляется не за счет ограничения, а за счет установки смещения. Такое смещение образуется при введении в цепь

эмиттера резисторов, как показано на рис. 6-2. В этой схеме благодаря введению смещения и ограничивающему действию эмиттерных резисторов поддерживается средняя величина тока эмиттера и коллектора, не достаточная для возникновения ограничения. Резистор R_3 вносит небольшую отрицательную обратную связь, которая управляет коэффициентом усиления замкнутого контура таким образом, чтобы получить достаточно чистую форму колебаний и избежать искажений.

Конденсатор C_1 заземляет свободный вывод катушки L_1 по переменному току, как и в предыдущем случае. Резисторы R_1 и R_2 составляют делитель напряжения, который действует точно таким образом, как и в транзисторных усилителях. Конденсатор C_3 — обычный блокировочный конденсатор эмиттерной цепи. В некоторых схемах резистор R_3 отсутствует, однако в подобных случаях емкость блокировочного конденсатора выбирается так, чтобы на частоте колебаний устанавливалась необходимая величина коэффициента усиления.

ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ МЕЖДУ КОЛЛЕКТОРОМ И ЭМИТТЕРОМ

Иногда цепь обратной связи включается между коллектором и эмиттером так, как показано на рис. 6-3. Подобные схемы генераторов часто применяются в портативных транзисторных радиоприемниках, где они представляют собой составную часть преобразователя частоты.

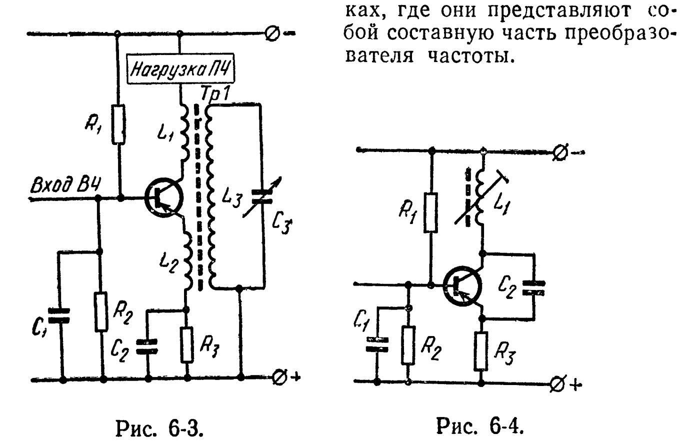


Рис. 6-3. Рис. 6-4.

Для сигнала, создаваемого генератором, база транзистора соединена с корпусом конденсатором C_1. Постоянное базовое смещение создается делителем напряжения, составленным из резисторов R_1 и R_2. Средняя величина тока эмиттера стабилизируется резистором R_3, а глубина обратной связи определяется величиной емкости конденсатора C_2. Катушки L_1 и L_2 связаны между собой и составляют трансформатор $Тр_1$. Для настройки используется третья катушка L_3, связанная с первыми двумя. Параллельно этой катушке подключен переменный конденсатор настройки.

Другой вид схемы с обратной связью между коллектором и эмиттером показан на рис. 6-4. Обратная связь здесь осуществляется через конденсатор C_2, включенный между коллектором и эмиттером.

Генераторы, собранные по такой схеме, иногда встречаются в переключателях телевизионных каналов (см. рис. 5-8).

Сигнал с генератора снимается из цепи настроенного контура либо с помощью емкости, либо посредством специальной дополнительной обмотки. В смесительных каскадах со встроенным гетеродином коллекторная цепь обычно нагружается на колебательный контур, настроенный на частоту, равную разности между частотой входного сигнала и частотой гетеродина, т. е. на промежуточную частоту.

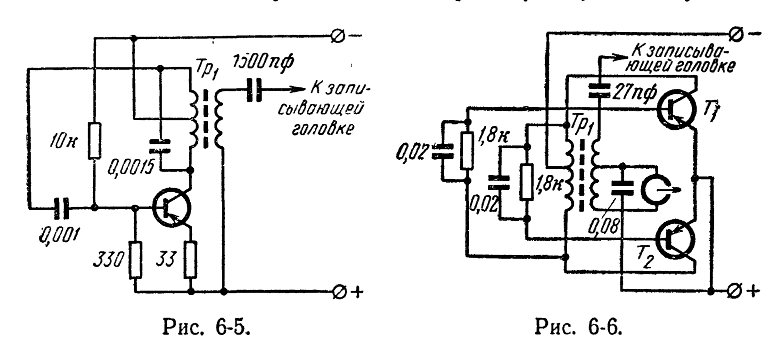


Рис. 6-5. Рис. 6-6.

Типовая схема генератора, используемого в магнитофонах, показана на рис. 6-5. В схеме предусмотрена возможность изменения напряжения смещения (переменный резистор сопротивлением 10 *ком* в базовой цепи). Таким образом, схему можно настроить на получение требуемой величины амплитуды при минимальных искажениях его формы. Генераторы подобного типа работают на частоте около 35 *кгц*.

ДВУХТАКТНЫЙ ГЕНЕРАТОР

Для того чтобы генератор стирания вырабатывал достаточную мощность, его строят обычно по двухтактной схеме, так, как показано на рис. 6-6. Положительная обратная связь устанавливается между коллекторными и базовыми цепями транзисторов. Для этой цели используются две цепочки с одинаковыми постоянными времени (конденсатор емкостью 0,02 *мкф* и резистор сопротивлением 1,8 *ком*).

В процессе работы генератора в течение каждого полупериода один транзистор отпирается, а другой запирается, т. е. налицо режим В. Контур обратной связи включает в себя первичную обмотку трансформатора $Тр_1$. Вторичная обмотка этого трансформатора используется для питания стирающей головки. Эта цепь настраивается на максимальную отдачу конденсатором емкостью 0,08 *мкф*. От этой же обмотки через конденсатор емкостью 27 *пф* снимается ток подмагничивания в записывающую головку.

Интересно заметить, что для полного стирания требуется мощность от 1 до 3 *вт*, в то время как для подмагничивания достаточна мощность сигнала от 25 до 50 *мвт*.

Если запись на ленте стирается не полностью, в первую очередь следует проверить работу двухтактного генератора. Наиболее частой причиной неисправности здесь оказывается расстройка, вызываемая

дефектами или старением деталей. Высокий уровень шумов в записи на ленте при условии, что предыдущая запись была полностью стерта, свидетельствует о необходимости проверить форму сигнала, вырабатываемого генератором. Возможной причиной искажения формы сигнала может служить нарушение симметрии двухтактного каскада. Нарушение симметрии в свою очередь может быть вызвано выходом из строя одного из транзисторов или изменением параметров элементов схемы.

Двухтактный генератор может продолжать вырабатывать сигнал даже при условии, что один из транзисторов полностью вышел из строя. При таких условиях форма колебаний сильно искажается. У некоторых магнитофонов обнаружить подобную неисправность чрезвычайно просто, поскольку в них генератор стирания строится на тех транзисторах, которые при воспроизведении работают в двухтактном выходном каскаде усилителя воспроизведения. Иными словами, конструкция магнитофона такова, что двухтактный выходной каскад усилителя воспроизведения при переключении магнитофона на запись начинает работать как генератор стирания.

В некоторых схемах однотактных генераторов с настроенным контуром для поддержания колебаний в цепь контура в соответствующие моменты времени подаются импульсы тока. При определенных условиях транзистор такого генератора работает в режиме С. Это означает, что в течение большей части периода транзистор генератора заперт.

В других случаях цепь смещения выбирается таким образом, как если бы транзистор работал в режиме А. Однако в результате выпрямления сигнала, создаваемого генератором, возникает дополнительное запирающее напряжение, переводящее транзистор в режим В. Таким образом, возникает уже рассмотренный выше эффект стабилизации амплитуды колебаний.

ПРОВЕРКА ГЕНЕРАТОРОВ

Смещение рабочих точек транзисторов генераторов с самовозбуждением несколько различаются в рабочем режиме и в отсутствие колебаний. Это явление может быть взято за основу при проверке наличия колебаний в генераторных каскадах. Идея метода проверки состоит в том, чтобы сначала измерить напряжение смещения, например, на эмиттерном резисторе, когда генератор работает в нормальном режиме, а затем снова измерить то же напряжение, предварительно закоротив обмотку контура или нагрузив ее на резистор с малым сопротивлением. Если генератор работает, то результаты двух измерений будут отличаться друг от друга. Когда каскад генерирует, напряжение на эмиттере в зависимости от схемы может быть либо меньше, либо больше того же самого напряжения у негенерирующего каскада. Обычно напряжение на эмиттере генерирующего каскада больше.

Форму колебаний лучше всего проверять с помощью осциллографа. Для этого небольшая часть сигнала, действующего на коллекторе транзистора, подводится к вертикальному входу осциллографа, а длительность развертки подбирается таким образом, чтобы на экране наблюдался полный период колебаний. Связь между осциллографом и генератором должна быть такой, чтобы не нарушалась нормальная работа генератора. Обычно оказывается достаточным подключить осциллограф через конденсатор емкостью несколько пикофарад.

Частоту колебаний также можно проверить с помощью осциллографа, если только он имеет развертку необходимой длительности. Другой способ проверки частоты колебаний состоит в том, чтобы принять сигнал генератора на радиоприемник или телевизор. Можно также принять на радиоприемник одновременно сигнал от проверяемого генератора и сигнал от калиброванного генератора и добиться появления в громкоговорителе частоты биений. Тогда частота, на которой работает проверяемый генератор, может быть считана непосредственно со шкалы калиброванного генератора.

Поскольку в генераторах используется небольшое количество деталей, они выходят из строя сравнительно редко. Однако следует иметь в виду, что при срыве колебаний вследствие какой-либо неисправности или замыкания нагрузки коллекторный ток может достигать значительной величины. В схеме двухтактного генератора, показанной на рис. 6-6, при срыве колебаний вследствие короткого замыкания вторичной обмотки трансформатора $Тр_1$ коллекторный ток может сильно возрасти, что приведет к разрушению транзисторов. Иногда для защиты транзисторов в цепь питания включают предохранитель.

ОТСУТСТВИЕ КОЛЕБАНИЙ

Если колебания в генераторе отсутствуют, прежде всего следует проверить смещение рабочего тока транзистора, затем сам транзистор и, наконец, настроенный контур и связанные с ним элементы. Например, в схеме (рис. 6-2) обрыва конденсаторов эмиттерной цепи может оказаться достаточно, чтобы коэффициент усиления в замкнутом контуре снизился и нормальная работа цепи обратной связи нарушилась.

Если создается впечатление, что все элементы генератора исправны, а колебания тем не менее отсутствуют, то следует очень осторожно проверить настроенный контур и прежде всего катушку на наличие короткозамкнутых витков.

Причиной неисправности генератора может служить и снижение коэффициента усиления транзистора на высоких частотах. Например если колебания срываются в высокочастотной части диапазона (в случае генератора переменной частоты), то прежде всего следует заменить транзистор.

ПЕРЕВОЗБУЖДЕНИЕ

Данный эффект проявляется в том, что амплитуда сигнала генератора периодически изменяется со звуковой или сверхзвуковой частотой. Такое же точно явление может иметь место и при чрезмерной глубине обратной связи. Перевозбуждение может возникнуть при слишком сильной связи между коллекторной и базовой цепями транзистора или когда сам транзистор имеет слишком большой коэффициент усиления. Маловероятно, однако, чтобы схема, которая нормально работала, начала проявлять признаки перевозбуждения. Если же так случилось после замены транзистора, следует уменьшить емкость конденсатора, блокирующего эмиттерный резистор.

В радиоприемниках перевозбуждение сигнала гетеродина может возникнуть после замены транзистора преобразовательного каскада. Однако такое явление, как правило, наблюдается лишь в нижней части средневолнового диапазона. Было обнаружено, что причиной подобной неисправности является то, что новый транзистор обладает

слишком большим коэффициентом усиления на высоких частотах. В этом случае следует подобрать транзистор, обеспечивающий стабильные колебания в нижней части диапазона, или уменьшить емкость конденсатора, блокирующего эмиттерный резистор.

Может наблюдаться и противоположный эффект, когда в нижнем конце диапазона колебания срываются. Так будет происходить в том случае, если новый транзистор имеет коэффициент усиления, меньший, чем у предыдущего. К сожалению, подобный дефект не всегда может быть устранен простым увеличением емкости конденсатора, блокирующего эмиттерный резистор.

Предположим, что вы настраиваетесь на станцию вблизи нижней части диапазона средних волн. Одновременно с работой станции прослушивается шум. Причиной этому может служить перевозбуждение гетеродина. Если перевозбуждение происходит на звуковой частоте, то эта частота прослушивается в громкоговорителе вместе с работой станции.

В смесительных каскадах с встроенным гетеродином может наблюдаться и другое явление, получившее название блокирования. Блокирование возникает в тех случаях, когда входной сигнал смесителя чересчур велик. Под действием чрезмерно большого входного сигнала изменяется смещение транзистора и срываются колебания гетеродина.

ГАРМОНИЧЕСКИЕ *RC*-ГЕНЕРАТОРЫ

Существует также класс транзисторных гармонических генераторов, у которых обратная связь с выхода на вход задается с помощью фазосдвигающей цепочки. Такие схемы получили название *RC*-генераторов.

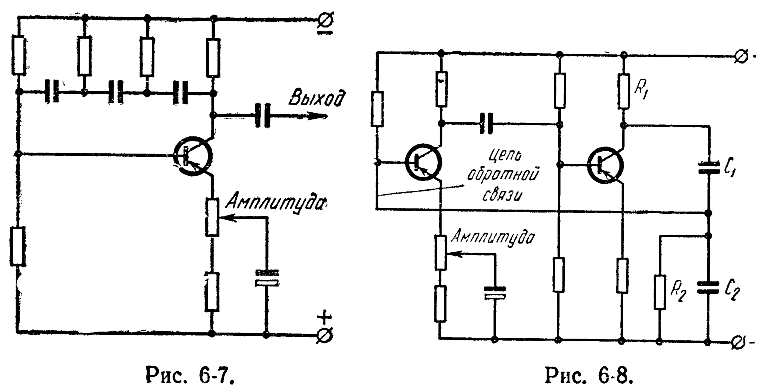


Рис. 6-7. Рис. 6-8.

Схема *RC*-генератора, собранного на одном транзисторе, показана на рис. 6-7. Здесь между коллектором и базой транзистора включена трехсекционная фазосдвигающая цепочка. Эта цепочка обладает тем свойством, что на одной определенной частоте вносимый ею сдвиг фазы оказывается в точности равным 180°.

Схема, в которой сдвиг фазы осуществляется с помощью так называемого моста Вина, показана на рис. 6-8. Мост Вина состоит из

двух резисторов, R_1 и R_2 и двух конденсаторов, C_1 и C_2. Он обеспечивает сдвиг фазы, необходимый для поддержания автоколебаний. Иными словами, фаза напряжения, падающего на параллельной цепи, составленной из резистора R_2 и конденсатора C_2, в точности совпадает с фазой выходного напряжения только на одной определенной частоте. Именно на этой частоте действует положительная обратная связь, поддерживающая автоколебания.

БЛОКИНГ-ГЕНЕРАТОР

Генераторы используются также в приборах, предназначенных для получения импульсов. Многие схемы подобного типа работают с внешним запуском. Типичным примером этому могут служить генераторы развертки телевизоров. В последних чаще всего использу-

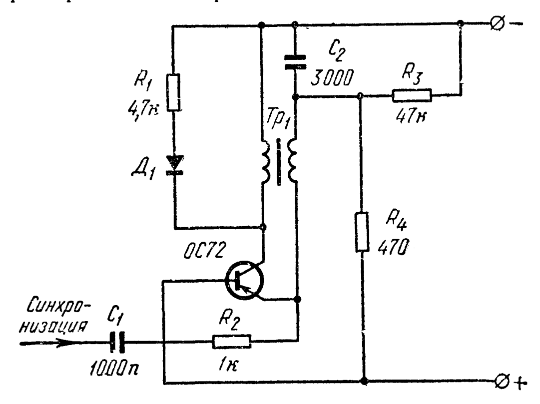


Рис. 6-9.

ются так называемые блокинг-генераторы. Типовая схема блокинг-генератора показана на рис. 6-9.

В этой схеме обратная связь между коллекторной и эмиттерной цепями осуществляется с помощью трансформатора $Тр_1$. Запирающее смещение на эмиттер транзистора подается с помощью делителя напряжения, составленного из резисторов R_3 и R_4. Запускающий синхронизирующий сигнал подается через цепочку, состоящую из конденсатора C_1 и резистора R_2.

Рассмотрим состояние, в котором находится схема перед началом первого периода колебаний. Транзистор заперт, так как отпирающее смещение на эмиттере отсутствует, а следовательно, отсутствует прямой ток через эмиттерный переход. Положительный синхронизирующий импульс через конденсатор C_1 и резистор R_2 поступает на эмиттер транзистора. Транзистор открывается, и через первичную обмотку трансформатора $Тр_1$, включенную в цепь коллектора, начинает протекать ток. Так как обмотка трансформатора $Тр_1$ обладает индуктивностью, коллекторный ток нарастает постепенно. Наличие в первичной обмотке нарастающего, т. е. изменяющегося, тока приводит к появлению во вторичной обмотке э. д. с. Выводы вторичной обмотки подсоединены таким образом, что эта э. д. с. вызывает даль-

нейшее открывание транзистора (положительная обратная связь).

Благодаря наличию э. д. с. во вторичной обмотке трансформатора Tp_1 прямой ток через эмиттерный переход продолжает увеличиваться, а следовательно, продолжает увеличиваться и коллекторный ток транзистора. Дальнейшее увеличение коллекторного тока сопровождается увеличением э. д. с. во вторичной обмотке. Подобный процесс принято называть лавинообразным. В результате лавинообразного процесса, поддерживаемого положительной обратной связью, коллекторный ток очень быстро возрастает и транзистор входит в насыщение. Одновременно с этим прямой ток эмиттерного перехода проходит через конденсатор C_2 и этот конденсатор заряжается, причем на обкладке конденсатора C_2, соединенной с выводом вторичной обмотки трансформатора, нарастает отрицательный потенциал.

Благодаря насыщению транзистора ток коллектора нарастает все медленнее и, наконец, становится постоянным. В этот момент э. д. с. во вторичной обмотке трансформатора становится равной нулю, и транзистор запирается. Запирание транзистора приводит к тому, что ток коллектора становится равным нулю. К этому моменту конденсатор C_2 оказывается заряженным до относительно большого отрицательного напряжения. Это напряжение в свою очередь способствует поддержанию запертого состояния транзистора. Итак, к рассматриваемому моменту времени транзистор полностью заперт, а конденсатор C_2 начинает разряжаться через резисторы R_3 и R_4. Энергия, накопленная в сердечнике трансформатора, рассеивается по цепи, состоящей из резистора R_1 и диода $Д_1$.

После того как конденсатор C_2 полностью разрядится, схема приходит в исходное состояние. Когда поступает следующий импульс, повторяется только что описанный процесс. Синхронизирующие импульсы для схемы, показанной на рис. 6-7, имеют амплитуду 1 *в* и следуют с частотой 100 *кгц*.

Схема на рис. 6-7 получила название ждущего блокинг-генератора. Это означает, что собственной положительной обратной связи в схеме недостаточно для поддержания колебаний. Каждый очередной цикл возникает лишь в результате действия синхронизирующего импульса.

АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ

На рис. 6-10 показана схема автоколебательного блокинг-генератора, представляющего собой задающий генератор развертки. В этой схеме обратная связь подается с эмиттера транзистора на его базу через трансформатор Tp_1. Частота колебаний регулируется переменным резистором R_1, изменение сопротивления которого приводит к изменению постоянной времени базовой цепи. что в свою очередь вызывает изменение длительности интервала времени, в течение которого транзистор заперт.

Цепь заряда состоит из переменного резистора R_3, с помощью которого устанавливается амплитуда колебаний, последовательно соединенного с ним резистора R_4 и конденсатора C_3. Постоянная времени этой цепи равна $(R_3+R_4)C_3$. Заряд, приобретаемый конденсатором C_3 за время одного полного цикла, а следовательно, и амплитуда колебаний зависят от сопротивления резистора R_3.

Колебания на выходе генератора имеют пилообразную форму. Так получается потому, что конденсатор C_3 относительно медленно заряжается через последовательно включенные резисторы R_3 и R_4

и быстро разряжается через открытый транзистор и первичную обмотку трансформатора $Тр_1$. Заряду конденсатора соответствует прямой ход луча по экрану электроннолучевой трубки, а разряду — быстрый возврат луча.

Частота повторения колебаний определяется постоянной времени $(R_1+R_2)C_2$, следовательно, частоту повторения можно менять, изменяя сопротивление переменного резистора R_1.

Диод $Д_1$ замыкает вторичную обмотку трансформатора в течение времени возврата луча. Этот диод рассеивает избыточную энергию, накопленную в сердечнике трансформатора, и предотвращает

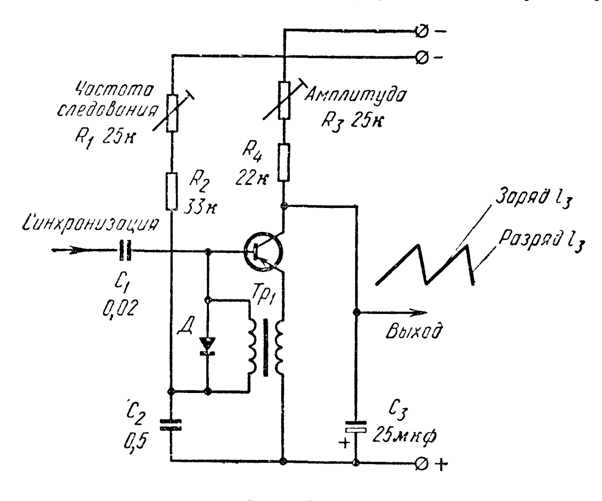


Рис. 6-10.

появление чрезмерно больших импульсов напряжения, которые могли бы вывести из строя транзистор.

Существует много различных вариантов схем блокинг-генераторов, однако принцип их действия в основном совпадает с принципом действия схем, показанных на рис. 6-9 и 6-10. В последней схеме частота колебаний управляется синхронизирующими импульсами, поступающими на базу транзистора. Каждый такой импульс определяет момент начала обратного хода луча.

В телевизионных приемниках пилообразное напряжение, вырабатываемое блокинг-генератором, поступает на линейный усилительный каскад. Этот каскад в свою очередь питает отклоняющие катушки электроннолучевой трубки, которые и вызывают перемещение светового пятна на экране слева направо или сверху вниз. Рассмотрение отклоняющих систем телевизора выходит за рамки этой книги.

НЕИСПРАВНОСТИ БЛОКИНГ-ГЕНЕРАТОРОВ

Если колебания в блокинг-генераторе полностью отсутствуют, прежде всего следует использовать ту методику проверки, которая была подробно рассмотрена применительно к генераторам с настро-

енными контурами. Если частота колебаний блокинг-генератора отличается от требуемой или наблюдаются произвольные изменения этой частоты, следует проверить детали, определяющие постоянную времени. Причиной произвольных изменений частоты может оказаться также неисправность трансформатора, что особенно вероятно в тех случаях, когда изменения частоты сопровождаются изменениями амплитуды колебаний.

Причиной отсутствия колебаний на выходе генератора может служить либо выход из строя транзистора, либо изменение параметров цепи, определяющей постоянную времени. Уменьшение амплитуды колебаний в схеме на рис. 6-8 может иметь место, например, в результате увеличения сопротивления резистора R_4 или уменьшения емкости конденсатора C_3. Неисправность в конденсаторе C_3 может сопровождаться также ухудшением линейности развертки.

МУЛЬТИВИБРАТОР

В современных транзисторных приборах встречается большое разнообразие типов импульсных генераторов. Конечно, мы лишены возможности здесь рассмотреть их все и поэтому ограничимся лишь описанием принципа действия так называемого мультивибратора (рис. 6-11), который состоит из двух усилительных каскадов, охваченных цепью глубокой положительной обратной связи. Если включается питание, то благодаря небольшим различиям в параметрах деталей и случайным изменениям токов, один из транзисторов запирается, а другой переходит в насыщение Из-за наличия положительной обратной связи транзисторы меняются ролями: запертый транзистор открывается, а открытый запирается. Подобная смена состояний совершается очень быстро и зависит от постоянных времени цепей R_1C_1, R_3C_2.

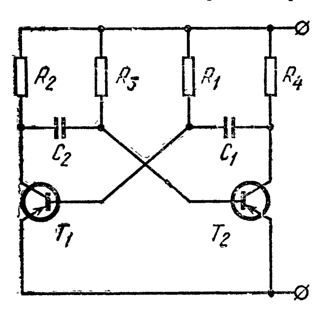


Рис. 6-11.

Предположим, что в некоторый момент времени транзистор T_1 проводит, а транзистор T_2 заперт. В результате этого вывод конденсатора C_2, соединенный с коллектором, находится под менее отрицательным напряжением, чем вывод этого конденсатора, соединенный с базой. Конденсатор C_2 заряжается, в результате база транзистора T_2 приобретает отрицательный потенциал и транзистор T_2 открывается. Возникает лавинообразный процесс, приводящий к полному открыванию транзистора T_2 и запиранию транзистора T_1.

Скорость переключения, определяющая частоту колебаний, зависит от скорости заряда конденсатора C_1 через резистор R_1 и конденсатора C_2 через резистор R_3. Эта скорость в свою очередь определяется постоянными времени указанных цепей. Конденсаторы C_1 и C_2 разряжаются через эмиттерные переходы транзисторов. Поэтому в известной степени частота колебаний зависит также от величины токов утечки транзисторов, а следовательно, от температуры.

Таблица 3

Признак неисправности	Возможная причина	Что проверяется
Колебания отсутствуют	1) Неисправен транзистор 2) Неправильные режимы по постоянному току 3) Мал коэффициент усиления в контуре обратной связи 4) Схема блокируется 5) Разрыв цепи	1) Транзистор 2) Резисторы в цепях электродов и источник питания 3) Конденсатор в эмиттерной цепи и элементы обратной связи 4) Базовое смещение. Блокирование каскада (в смесителях) 5) Конденсаторы и катушки контуров
Мал выходной сигнал	1) Мал коэффициент усиления в контуре обратной связи 2) Мала емкость конденсатора или велико сопротивление резистора цепи заряда (в блокинг-генераторе)	1) Цепь обратной связи. Конденсатор эмиттерной цепи. Источник питания. Цепи развязки 2) Конденсатор и резистор цепи заряда
Перевозбуждение	Велик коэффициент усиления в контуре обратной связи	Элементы цепи обратной связи. Конденсатор эмиттерной цепи
Искажения	Насыщение транзистора	Базовое смещение. Параметры элементов схемы (см. текст)
Неправильная частота	1) LC-элементы контура 2) RC-элементы	1) Настройка 2) RC-элементы
Изменения частоты	Неисправность в цепи настройки	Элементы настраиваемого контура. Трансформатор (в блокинг-генераторе)

Если постоянные времени цепей C_1R_1 и C_2R_3 равны между собой, колебания на выходе имеют симметричную форму. Другими словами, длительность прямоугольного импульса оказывается равной длительности промежутка между импульсами. В общем случае отношение длительности импульса к длительности промежутка между импульсами определяется величиной отношения соответствующих постоянных времени. Если это отношение очень велико, мультивибратор будет работать неудовлетворительно.

В столь простом устройстве неисправности возникают достаточно редко. Причиной отсутствия колебаний, как правило, оказывается обрыв в цепи одной или нескольких деталей. Искажение формы колебаний может быть связано с их частотой. Относительно медленное нарастание напряжения может иметь место вследствие использования транзисторов с малым значением граничной частоты.

Основные неисправности генераторов и способы их обнаружения приведены в табл. 3.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ОБНАРУЖЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В РАДИОПРИЕМНИКАХ

Транзисторный радиоприемник содержит усилители высокой и низкой частоты, преобразователь частоты (гетеродин и смеситель), детектор. На смеситель поступает два сигнала: сигнал принимаемой станции и сигнал от гетеродина. В результате преобразования образуется сигнал суммарной и разностной частоты. Разностная частота, называемая также промежуточной, выделяется в резонансном контуре, включенном в коллекторную цепь смесителя (см. рис. 6-3).

Смесителю может предшествовать усилитель высокой частоты, настроенный на частоту входного сигнала. Однако у большинства массовых транзисторных радиоприемников усилитель высокой частоты отсутствует и входной сигнал подается непосредственно на смеситель. Только в более чувствительных и соответственно более дорогих транзисторных приемниках имеется каскад усиления высокой частоты. Преобразовательный каскад собран, как правило, на одном транзисторе, но в некоторых случаях используется отдельный каскад, выполняющий функции гетеродина.

Сигнал промежуточной частоты усиливается двумя-тремя каскадами УПЧ до 1 *в*, после чего он поступает на детектор. Детектор выделяет из сигнала промежуточной частоты модулирующий сигнал, усиливаемый затем УНЧ, на выходе которого включен громкоговоритель.

В предыдущих главах были описаны принципы действия различных типов усилителей и генераторов и возникающие в этих схемах неисправности. В этой главе мы сосредоточим свое внимание на неисправностях прибора в целом. За более подробными сведениями относительно того, как работают те или иные каскады прибора, каковы их специфические неисправности и методы устранения этих неисправностей, читатель должен обращаться к предыдущим главам.

НЕЛИНЕЙНЫЕ КАСКАДЫ

К нелинейным каскадам мы относим здесь главным образом преобразователь частоты и детектор, поскольку именно благодаря их нелинейности возможны происходящие в них процессы.

Нелинейные каскады (выпрямители) используются также в источниках питания, где они преобразуют переменный ток осветительной сети в постоянный ток, необходимый для питания транзисторов (это делается в тех случаях, когда прибор не питается от батареи).

В противоположность этому характеристики усилителей пытаются сделать настолько линейными, насколько это возможно. Нелинейность характеристики усилителя приводит к появлению искажений, поэтому в усилителях нелинейность крайне нежелательна.

ПОРТАТИВНЫЕ ТРАНЗИСТОРНЫЕ ПРИЕМНИКИ

На рис. 7-1 показана принципиальная схема портативного транзисторного радиоприемника, собранного на семи транзисторах. Здесь транзистор T_1 выполняет функции преобразователя частоты. Транзисторы T_2, T_3 входят в состав УПЧ. Усилитель низкой частоты собран на транзисторах T_4—T_7. В детекторе использован германиевый диод, размещенный внутри экрана третьего трансформатора промежуточной частоты.

Входной сигнал поступает на базу транзистора T_1 через конденсатор C_5. Сигнал гетеродина подается в эмиттер того же самого транзистора, поскольку этот транзистор работает в режиме генератора благодаря наличию обратной связи между обмоткой L_6, включенной в цепь коллектора, и обмоткой L_5, включенной в цепь эмиттера. Указанные обмотки составляют высокочастотный трансформатор гетеродина Tp_1. Сигнал промежуточной частоты выделяется на обмотке первого трансформатора промежуточной частоты $Tp_{п.ч1}$.

Как это обычно принято в портативных транзисторных приемниках, входной сигнал воспринимается магнитной антенной, представляющей собой ферритовый стержень, на который намотаны катушка средних волн L_1 и катушка длинных волн L_2. Сигналы, имеющиеся в этих катушках, после согласования сопротивлений (обмотки L_3 и L_4) передаются на базу транзистора T_1 через переключатель диапазонов $П_1$ и конденсатор C_5. Обмотки L_3 и L_4 имеют меньше витков, чем обмотки L_1 и L_2, благодаря чему высокое выходное сопротивление антенны понижается. Наилучшие условия передачи сигнала будут иметь место в том случае, если обеспечивается правильное согласование высокого сопротивления антенны и относительно низкого сопротивления цепи базы транзистора T_1.

Переключатель $П_{1С}$ замыкает накоротко катушку L_1, если он установлен в позицию, соответствующую приему на длинных волнах, и катушку L_2, если он установлен в позицию, соответствующую приему на коротких волнах. На рис. 7-1 переключатель диапазонов $П_1$ показан в положении, соответствующем приему на длинных волнах.

Антенный контур настраивается конденсатором $C_{2А}$, параллельно которому подключен подстроечный конденсатор C_4, используемый для подстройки антенны в диапазоне средних волн. Для подстройки антенны в диапазоне длинных волн используется подстроечный конденсатор C_1.

Настраиваемый контур гетеродина состоит из обмотки L_7 трансформатора Tp_1 и гетеродинной секции $C_{2Б}$ блока переменных кон-

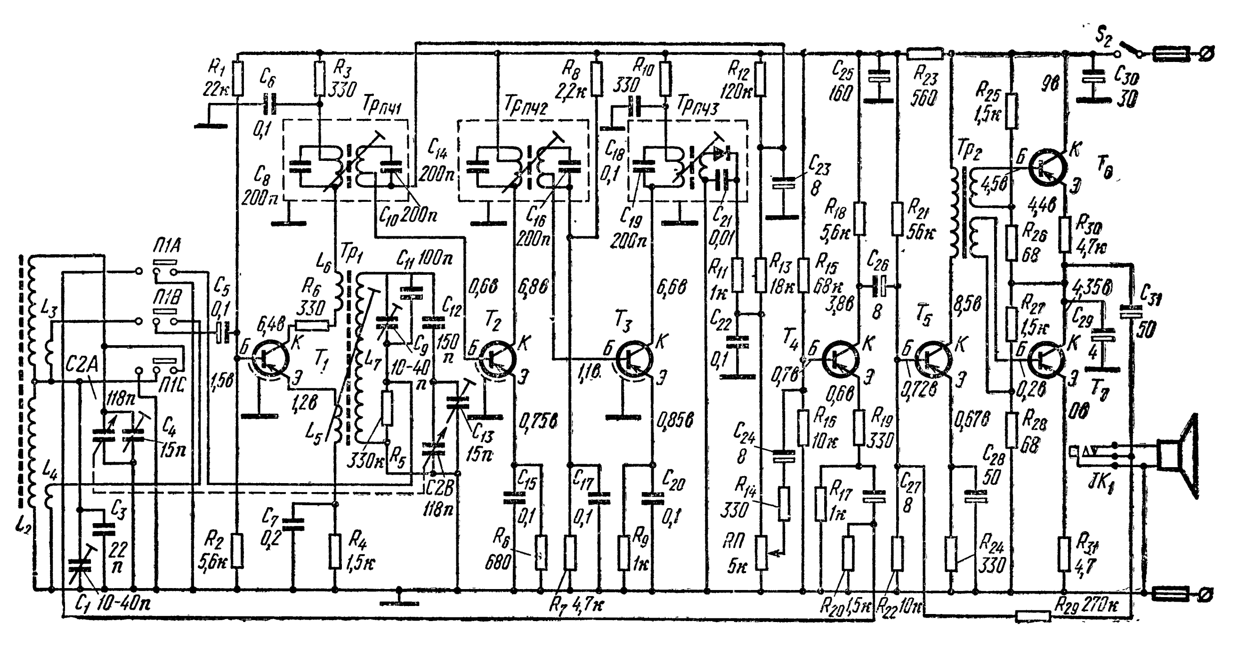

S2
C30 30
T6
R30 4,7к
C31 50
C29 4
T7
JK1
R31 4,7
R29 270к
R25 1,5к
R26 68
R27 1,5к
R28 68
Tp2
C28 50
R24 330
R23 560
R21 56к
T5
C27 8
R22 10к
C25 160
R18 5,6к
C26 8
R19 330
R17 1к
R20 1,5к
C23 8
R15 68к
R16 10к
T4
R12 120к
R13 18к
C24 8
R14 330
RП 5к
Трпч3
C21 0,01
R11 1к
C22 0,1
R10 330
C18 0,1
C19 200п
T3
C20 0,1
R9 1к
R8 2,2к
C17 0,1
R7 4,7к
Трпч2
C16 200п
T2
C15 0,1
R6 680
C14 200п
C13 15п
C12 150п
C11 100п
C9 10-40п
C2B 118п
Трпч1
C10 200п
R3 330
R5 330к
L7
Tp1
L6
L5
R4 1,5к
C6 0,1
C8 200п
T1
C7 0,2
R1 22к
C5 0,1
R2 5,6к
П1А
П1В
П1С
C4 15п
C2A 118п
C3 22п
C1 10-40п
L3
L4
L2

Рис. 7-1.

денсаторов. Параллельно переменному конденсатору $C_{Б2}$ подсоединен подстроечный конденсатор C_{13}. Этот конденсатор используется для подстройки гетеродина в диапазоне средних волн. Подстройка гетеродина в диапазоне длинных волн осуществляется конденсатором C_9.

Переключатель $П_{1А}$ используется для переключения гетеродина на работу в диапазоне длинных или средних волн. В положении, показанном на рис. 7-1, параллельно обмотке L_7 подключены конденсатор C_{11} и подстроечный конденсатор C_9. В результате этого частота колебаний гетеродина уменьшается, что соответствует работе в диапазоне длинных волн. В диапазоне средних волн эти конденсаторы отключаются от обмотки L_7 и частота колебаний гетеродина увеличивается. При приеме станций длинноволнового диапазона включается резистор R_5, который шунтирует обмотку катушки гетеродина, благодаря чему амплитуда колебаний не превышает требуемых значений.

Конденсаторы C_8 и C_{10}, включенные параллельно обмоткам первого трансформатора промежуточной частоты, служат для настройки этого контура. Более точная подстройка осуществляется с помощью ферритовых сердечников, помещенных внутри обмотки.

НАСТРОЙКА ТРАНЗИСТОРНЫХ РАДИОПРИЕМНИКОВ

Посмотрим теперь, как следует настраивать транзисторный радиоприемник, чтобы удовлетворить всем сформулированным выше условиям. Предположим, что, приступая к работе, мы имеем дело с полностью расстроенным приемником.

Чтобы успешно выполнить такую работу, нам нужны два прибора: генератор стандартных сигналов, выходной высокочастотный сигнал которого можно модулировать напряжением звуковой частоты, и индикатор уровня звукового сигнала. Обычно в качестве такого индикатора используется ваттметр, подключаемый вместо громкоговорителя. Для того чтобы оконечный каскад был нагружен, необходимо чтобы входное сопротивление ваттметра соответствовало сопротивлению отключенного громкоговорителя. Для рассматриваемой схемы требуется прибор с сопротивлением 15 *ом*.

Для тех же целей можно воспользоваться вольтметром переменного тока. Вольтметр следует подключать параллельно громкоговорителю, так чтобы увеличение громкости звука сопровождалось увеличением отклонения стрелки вольтметра. Можно также включить миллиамперметр постоянного тока последовательно с батареей питания. Когда сигнал в громкоговорителе отсутствует, такой миллиамперметр будет показывать номинальную величину тока, потребляемого от источника питания. Однако по мере того, как увеличивается мощность на выходе каскада, работающего в режиме В, потребляемый ток также увеличивается. Иными словами, чем больше громкость звука, тем большим будет и отклонение стрелки миллиамперметра.

НАСТРОЙКА КАНАЛА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Начинать налаживание приемника следует с настройки контуров промежуточной частоты. В зависимости от конструкции приемника либо все контуры настраивают на одну и ту же частоту, либо каждый из контуров настраивают на свое специально установленное значение частоты. У большинства приемников достаточно настроить все контуры промежуточной частоты так, чтобы максимум показаний вы-

ходного прибора соответствовал промежуточной частоте 465 *кгц*. Это справедливо также и для приемника, схема которого показана на рис. 7-1.

Итак, выход генератора стандартных сигналов мы подсоединяем к незаземленной обкладке конденсатора C_{2A}. Для того чтобы стрелка выходного индикатора отклонилась на заметную величину, вначале следует подавать сигнал с относительно большой амплитудой. Затем трансформатор $Тр_{п\cdot ч3}$ настраивается на максимальное показание выходного прибора. Затем настраиваются основные два контура. Следует настраивать сначала вторичную, а затем первичную обмотки трансформаторов $Тр_{п\cdot ч2}$, а затем $Тр_{п\cdot ч1}$, добиваясь каждый раз максимального отклонения стрелки выходного индикатора.

По мере настройки следует постепенно снижать с помощью аттенюатора амплитуду выходного сигнала генератора, чтобы избежать перегрузки. Следует все время следить за тем, чтобы при глубине модуляции 30% и частоте модулирующего сигнала 400 *гц* мощность на выходе приемника не превышала 50 *мвт*.

НАСТРОЙКА ГЕТЕРОДИНА

Когда настройка канала промежуточной частоты завершена, следует переходить к настройке высокочастотной части приемника (т. е. антенных цепей и гетеродина). Начинать надо с настройки гетеродина в диапазоне средних волн.

Выход генератора стандартных сигналов, как и в предыдущем случае, соединяется с незаземленной обкладкой конденсатора C_{2A}. Однако теперь его следует подключать через конденсатор емкостью 2,2 *пф* для того, чтобы избежать шунтирования антенных цепей, сохраняя при этом необходимую связь между антенной и источником сигнала.

После того как генератор стандартных сигналов и выходной индикатор подключены, на генераторе устанавливается частота около 600 *кгц* (низкочастотная часть диапазона средних волн). Сам радиоприемник также настраивается на частоту 600 *кгц* или в общем случае на ту же самую частоту, на которую настроен генератор. Затем ферритовый сердечник трансформатора $Тр_1$ перемещается до тех пор, пока не будет достигнуто максимальное отклонение стрелки выходного прибора. У некоторых радиоприемников частоты, на которых следует производить настройку, помечены прямо на шкале.

Затем генератор и радиоприемник перестраиваются на высокочастотную часть диапазона средних волн (т. е. на частоту порядка 1 500 *кгц*). Теперь настройка на максимальное отклонение выходного прибора осуществляется с помощью подстроечного конденсатора C_{13}. Следует заметить, что после изменения положения конденсатора C_{13} настройка в низкочастотной части диапазона собьется, поэтому описанные действия следует повторять несколько раз до тех пор, пока не будет обеспечено максимальное отклонение стрелки выходного индикатора как в низкочастотной, так и высокочастотной частях диапазона средних волн.

Для настройки гетеродина в диапазоне длинных волн переключатель диапазонов приемника устанавливается на этот диапазон, после чего приемник и генератор настраиваются на частоту примерно 214 *кгц*. Затем с помощью подстроечного конденсатора C_9 добиваются максимального отклонения стрелки выходного прибора. На этом заканчивается настройка гетеродина.

НАСТРОЙКА АНТЕННОЙ ЦЕПИ

Теперь можно переходить к настройке антенной цепи. Для этого сначала на ферритовый стержень примерно такого же диаметра, что и антенный стержень приемника, необходимо намотать 10 витков изолированного медного провода диаметром 0,22 *мм*. Стержень с обмоткой следует расположить параллельно антенне приемника на расстоянии от последнего порядка 1 *мм*. Можно намотать также вспомогательную катушку на деревянный обруч диаметром около 300 *мм*. В обоих случаях концы вспомогательной катушки подсоединяются к выходу генератора стандартных сигналов. Никакого непосредственного соединения между генератором стандартных сигналов и приемником в этом случае не делается.

Генератор стандартных сигналов настраивают на частоту 600 *кгц* и устанавливают достаточно большое выходное напряжение. Затем сигнал от генератора нужно поймать приемником, настраивая последний в низкочастотной части средневолнового диапазона, и окончательно отрегулировать выходное напряжение генератора стандартных сигналов, так чтобы мощность сигнала на выходе приемника оказалась равной 50 *мвт*. Затем добиваются максимального отклонения стрелки выходного индикатора, перемещая катушки L_1 и L_3 вдоль ферритового стержня магнитной антенны.

При перемещении антенных катушек вдоль ферритового стержня магнитной антенны их индуктивность изменяется. Индуктивность максимальна, когда катушка находится посередине стержня, и уменьшается по мере перемещения катушки к одному из его концов. Обычно перед перемещением катушек необходимо разогреть воск, с помощью которого фиксируется положение катушки относительно стержня. После настройки катушку нужно снова укрепить каплей воска.

Максимальная чувствительность в высокочастотной части средневолнового диапазона достигается путем настройки на максимальное отклонение стрелки выходного индикатора подстроечного конденсатора C_4. Генератор стандартных сигналов и сам приемник настраивают при этом на частоту 1 500 *кгц*.

Настройка антенной цепи в длинноволновом диапазоне осуществляется с помощью подстроечного конденсатора C_1. Генератор стандартных сигналов и сам приемник настраивают при этом на частоту 214 *кгц*, после чего добиваются максимального отклонения стрелки выходного индикатора.

ДЕТЕКТОР И ЦЕПЬ АРУ

В схеме, показанной на рис. 7-1, сигнал промежуточной частоты, снимаемый с транзистора T_3, подается на германиевый диод, расположенный внутри экрана последнего трансформатора промежуточной частоты $Тр_{п.ч3}$. Это диод детектора, который одновременно, как будет показано, позволяет получить также напряжение АРУ. Диод соединен с нагрузкой, состоящей из резистора R_{11} и переменного резистора — регулятора громкости R_1. Поскольку второй вывод вторичной обмотки трансформатора $Тр_{п.ч3}$ соединен с корпусом приемника, т. е. с положительным полюсом батареи питания, а переменный разистор регулятора громкости через резисторы R_{12} и R_{13} соединен с отрицательным полюсом источника питания, диод имеет небольшое смещение в прямом направлении. Этим обеспечивается

работа на более линейном участке вольт-амперной характеристики диода.

Сигнал промежуточной частоты выпрямляется диодом и на нагрузке падает выпрямленное, т. е. пульсирующее напряжение. Это напряжение содержит переменную составляющую, соответствующую модулирующему сигналу. Часть этой переменной составляющей, определяемая положением движка регулятора громкости R_1, передается на вход усилителя низкой частоты. Постоянная составляющая напряжения, падающего на нагрузке детектора, зависит от величины сигнала промежуточной частоты, поступающего на диод. Чем больше амплитуда этого сигнала, тем больше постоянная составляющая.

Это постоянное напряжение используется в качестве напряжения АРУ. Оно прикладывается к базе транзистора T_2 первого каскада усиления промежуточной частоты через резистор R_{13} и вторичную обмотку трансформатора $Тр_{п.ч1}$.

Поскольку рассматриваемое напряжение снимается с катода диода, оно положительно и становится еще более положительным при увеличении сигнала промежуточной частоты. Таким образом, базовое смещение транзистора T_2 устанавливается с помощью делителя напряжения, в одно из плеч которого включены последовательно резистор R_{13} и переменный резистор $R_п$, а во второе плечо — резистор R_{12}. При увеличении сигнала промежуточной частоты отрицательное напряжение, прикладываемое к базе транзистора T_2, уменьшается и это приводит к уменьшению коэффициента усиления каскада. Чем больше амплитуда сигнала промежуточной частоты, тем меньшее отрицательное напряжение поступает на базу транзистора T_2 и тем меньшим становится усиление этого транзистора. Так схема противодействует увеличению сигнала.

Сигнал низкой частоты отфильтровывается конденсатором C_{22}, а напряжение АРУ отфильтровывается конденсатором C_{23}. Конденсатор C_{21} в цепи детектора препятствует прохождению в нагрузку напряжения промежуточной частоты.

Сигнал низкой частоты передается через резистор R_{14} и конденсатор C_{24} на базу транзистора T_4 — предварительного усилителя низкой частоты. С коллектора этого транзистора сигнал передается на базу транзистора T_5, работающего в схеме предоконечного каскада усилителя. Связь между предоконечным и двухтактным оконечным каскадами осуществляется с помощью трансформатора $Тр_2$. Транзисторы T_4 и T_5 работают в режиме А. Транзисторы оконечного каскада T_6 и T_7 работают в режиме В.

Сигнал отрицательной обратной связи передается с выхода усилителя низкой частоты через конденсатор C_{31} и резистор R_{29} на вход предоконечного каскада. Заметим, что когда переключатель диапазонов установлен в положение СВ, часть этого переключателя обозначенная как *П1А* замыкает некоротко резистор R_{20}, включенный в эмиттерную цепь транзистора T_4. При этом несколько изменяется характеристика усилителя низкой частоты.

ПРИЕМНИК НЕ РАБОТАЕТ

Перейдем теперь непосредственно к описанию процесса отыскания неисправности в простом транзисторном приемнике. Наиболее часто встречающаяся неисправность состоит в том, что приемник попросту не работает. Если это так, то в первую очередь нужно проверить напряжение источника питания и ток, потребляемый от этого

источника. Состояние батареи очень быстро определяется с помощью вольтметра. Если под нагрузкой (т. е. когда приемник включен и потребляет ток) напряжение батареи соответствует номиналу, то можно очень быстро проверить состояние оконечного каскада. Для этого надо приложить приемник громкоговорителем к уху и пощелкать выключателем питания.

Если при включении и выключении питания в громкоговорителе прослушивается потрескивание, это лучшее доказательство тому, что сам громкоговоритель в порядке, а по коллекторным цепям транзисторов выходного каскада протекает ток. Если же потрескивания не слышно, то следует проверить сам громкоговоритель, его подключение к оконечным транзисторам и, наконец, цепи питания оконечного каскада.

Приступая к обнаружению неисправности или ремонту приемника, лучше всего заранее запастись перечнем типовых неисправностей и схемой этого приемника. На схеме или в инструкции обычно указываются нормальные напряжения на различных электродах транзистора. Напряжения, помеченные на рис. 7-1, отсчитываются от положительного полюса источника питания и измерены с помощью вольтметра чувствительностью 20 000 *ом/в*. Для проверки каскадов низкой частоты следует пользоваться процедурой, подробно описанной в гл. 4.

Если стало ясно, что неисправность кроется в одном из каскадов, предшествующих регулятору громкости, часто удается локализовать эту неисправность, быстро проверив режимы по постоянному току смесителя и каскадов промежуточной частоты. Если измерения показали, что все напряжения соответствуют норме, можно проверить гетеродин с помощью второго исправного приемника, если таковой имеется.

ПРОВЕРКА ГЕТЕРОДИНА

Идея использования второго приемника состоит в том, чтобы настроить этот приемник на какую-либо слабую станцию. Затем проверяемый приемник настраивается таким образом, чтобы частота его гетеродина совпала с частотой станции, на которую настроен второй приемник. В результате, если частоты настройки отличаются на несколько килогрец, в громкоговорителе второго приемника будет прослушиваться свист. Это подтверждает, что гетеродин проверяемого приемника работает нормально.

Пользуясь таким методом проверки, нужно позаботиться о связи между гетеродином проверяемого приемника и антенной цепью вспомогательного. Для этого на ферритовую антенну вспомогательному приемника наматывают катушку связи, как это было описано ранее, или присоединяют к ней проводник, который располагают в непосредственной близости от гетеродина проверяемого приемника.

Следует помнить, что частота гетеродина на 465 *кгц* выше частоты, указанной на шкале. Следовательно если приемник настроен, например, на частоту 1 *Мгц*, то сигнал гетеродина будет иметь частоту 1,465 *Мгц*. Подобный метод контроля позволяет убедиться, что гетеродин проверяемого приемника работает. Другие методы проверки гетеродина описаны в гл. 6.

Если неисправность кроется в каскадах промежуточной частоты (или в каскаде высокой частоты, если таковой имеется), следует воспользоваться методикой проверки, описанной в гл. 5.

ПРИЗНАКИ РАССТРОЙКИ ПРИЕМНИКА

У расстроенного приемника ухудшаются чувствительность и избирательность. Однако приемник очень редко расстраивается сам по себе. Лишь в отдельных случаях вибрации, создаваемые громкоговорителем, могут привести к тому, что плохо закрепленные ферритовые сердечники катушек станут самопроизвольно поворачиваться. Поэтому уже при общем осмотре можно заметить, что положения органов настройки изменялись.

Случается также, что конденсаторы контуров C_8, C_{10} и т. д., подключенные параллельно обмоткам трансформаторов промежуточной частоты, изменяют свою емкость. Подобное обстоятельство может быть выявлено при проверке настройки. Емкость может измениться настолько сильно, что окажется невозможным восстановить настройку, пользуясь сердечниками катушек и подстроечными конденсаторами.

Признаком расстройки приемника может служить и то, что станция прослушивается не в том месте шкалы, где она должна прослушиваться в соответствии с градуировкой. При определенных положениях ручки настройки могут быть слышны свисты. Наконец, возможны срывы колебаний гетеродина на низкочастотных концах диапазона длинных или средних волн. Тогда на определенном участке шкалы приемник попросту молчит.

Причиной потери чувствительности могут служить неисправности в каскадах промежуточной или низкой частоты. Чтобы определить такую неисправность, нужно тщательно проверить чувствительность, как это было описано в предыдущих главах.

Во многих случаях, однако, потеря чувствительности каскадов промежуточной и высокой частоты сопровождается тем, что близко расположенные мощные станции начинают прослушиваться на всем диапазоне. Следует помнить, что подобное явление наблюдается даже у исправных приемников, причем бывают случаи, когда прослушиваются слабые сигналы отдаленных станций.

ИСКАЖЕНИЯ И САМОВОЗБУЖДЕНИЕ

Потеря чувствительности каскадами низкой частоты обычно сопровождается теми или иными искажениями. В подобных случаях прежде всего следует проверить режимы по постоянному току транзисторов усилителя низкой частоты. Как было показано в гл. 4, причиной нелинейных искажений может быть низкое напряжение батареи, неправильные режимы работы транзисторов оконечного каскада, а также неисправность самих транзисторов.

Самовозбуждение может возникать как в каскадах промежуточной частоты, так и в каскадах низкой частоты. Если свист в громкоговорителе возникает только при настройке на станцию, значит возбуждаются каскады промежуточной частоты. Самовозбуждение каскадов низкой частоты вызывает паразитный звук в громкоговорителе, который не зависит от положения органов настройки.

Самовозбуждение каскадов промежуточной частоты часто вызывается расстройкой или неисправностью нейтрализующих цепей (см. гл. 5). Причиной самовозбуждения могут быть также паразитные связи между выходом и входом канала промежуточной частоты или канала высокой частоты. Если самовозбуждение возникает тогда, когда в процессе подстройки достигается максимум выходного сиг-

нала, следует выявить, какой именно контур промежуточной частоты является причиной самовозбуждения. У некоторых типов приемников отдельные контуры промежуточной частоты нормально должны настраиваться на различные частоты. Если канал промежуточной частоты возбуждается, следует проверить цепи питания и развязки, так как чаще всего изменяются емкости электролитических конденсаторов цепей развязки.

В схеме, показанной на рис. 7-1, причиной самовозбуждения могут служить конденсаторы C_6, C_{18}, C_{23}, C_{25} и C_{30}. Конденсаторы, использованные в каскадах низкой частоты, могут вызывать самовозбуждение на очень низких частотах.

ПЕРЕГРУЗКИ

Среди радиоприемников последних выпусков лишь у очень немногих может наблюдаться явление перегрузки мощными входными сигналами. Однако если цепь АРУ неисправна, то при настройке на мощную местную станцию может возникнуть описанный выше эффект блокирования, т. е. приемник при этом замолкает.

У некоторых радиоприемников в дополнение к обычной системе АРУ используются также диоды, защищающие от перегрузок. Такие диоды подключаются параллельно цепям смесителя и контурам промежуточной частоты. Нормально эти диоды заперты, однако при появлении сигналов достаточно высокого уровня напряжение АРУ переводит эти диоды в проводящее состояние. Они шунтируют контуры промежуточной частоты и, таким образом, предотвращают поступление слишком больших сигналов от смесителя. Смысл использования защитных диодов состоит в том, что усиление преобразователя частоты на одном транзисторе нельзя изменять при работе в системе АРУ.

Для проверки системы АРУ вольтметр с большим внутренним сопротивлением включают между цепью АРУ и корпусом. Напряжение в цепи АРУ при нормальной работе должно существенно изменяться, когда приемник настраивается на мощную станцию. Лучше всего измерять напряжение АРУ в точке, непосредственно соединенной с базой управляемого транзистора. В схеме на рис. 7-1 напряжение АРУ можно измерять на конденсаторе C_{23}.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ПРАКТИЧЕСКИЕ СОВЕТЫ

Ремонт транзисторных приборов в той же степени, как и любого другого оборудования, сводится к выполнению двух основных операций. Первая из них — отыскание неисправности, а вторая — ее устранение, т. е. собственно ремонт. Во всех предыдущих главах мы говорили о том, как можно обнаружить неисправность в транзисторной схеме. Эта глава посвящена собственно ремонту.

Если вы намерены заняться ремонтом транзисторной аппаратуры, вам необходимо обзавестись следующими основными приборами:

многошкальным тестером, звуковым генератором, радиочастотным генератором стандартных сигналов, осциллографом.

Если для обнаружения неисправностей в транзисторных приборах используется измерительная аппаратура, питаемая от сети, следует предусмотреть соответствующую изоляцию проверяемого прибора от измерительной аппаратуры, так как при определенных условиях через переходы транзисторов могут протекать большие токи, которые возникают внезапно и часто приводят к разрушению транзисторов.

Для предотвращения разрушения транзисторов не всегда достаточно одних лишь разделительных конденсаторов. Последнее особенно справедливо в тех случаях, когда к проверяемому прибору подключается и отключается измерительный прибор, включенный в сеть. Цепи питания некоторых измерительных приборов снабжены высокочастотным фильтром, и через этот фильтр часть тока питания может ответвляться в металлический корпус прибора. Корпус прибора обычно рассматривается как общая земляная точка. Если на самом деле корпус заземлен недостаточно тщательно, то довольно сильные токи промышленной частоты возникают в переходах транзисторов. Поэтому всегда нужно следить за тем, чтобы корпуса измерительных приборов, питаемых от сети, были надежно соединены с хорошим заземлением. Только после этого можно приступать к проверке транзисторного прибора.

Токи от питающей сети могут ответвляться в проверяемый прибор также через емкость между первичной и вторичной обмотками трансформатора питания измерительного прибора. Они могут протекать также и через разделительные конденсаторы.

Возможен и такой случай. Предположим, что мы проверяем транзисторный прибор с помощью хорошо заземленного измерительного прибора. При этом мы пользуемся паяльником, например, для того чтобы отсоединить базовый вывод транзистора. При таких условиях снова может возникнуть большой ток, протекающий через емкость между нагревательным элементом и жалом паяльника. Такого тока вполне достаточно, чтобы полностью разрушить транзистор. Жало паяльника должно быть заземлено так же надежно, как и корпус измерительного прибора.

Другая причина возникновения внезапных скачков тока — это случайное короткое замыкание выводов транзистора, например, при их замене.

Транзистор может быть разрушен и в том случае, если он перегревается. Перегрев возникает в результате протекания чрезмерного количества тепла от паяльника к переходу через выводы. Подобное явление можно предотвратить, если при пайке пользоваться специальными теплоотводами. Теплоотвод — это просто кусок металла достаточной величины, препятствующий распространению тепла по выводу В качестве теплоотвода обычно используют плоскогубцы с заостренными концами или пинцет.

Можно изготовить теплоотвод из зажима типа «крокодил». Для этого концы зажима заливают оловом, так чтобы они стали более массивными. Перед пайкой этот зажим укрепляют на выводе транзистора. При ремонте транзисторной аппаратуры следует придерживаться следующих правил:

1) никогда не производите пайку прибора, находящегося под напряжением, так как при этом очень легко замкнуть накоротко какие-нибудь цепи;

2) никогда не пользуйтесь незаземленным паяльником, так как изоляция между нагревательным элементом и жалом паяльника может нарушиться и жало окажется под напряжением;

3) никогда не заменяйте детали во включенном приборе;

4) не производите пайку без теплоотвода;

5) не пользуйтесь омметром с батареей напряжением более 1,5 *в*;

6) не изгибайте выводы транзисторов на расстоянии, меньшем 1,5 *мм* от корпуса, так как при этом может быть нарушена его герметичность.

Современная транзисторная аппаратура изготовляется, как правило, методом печатного монтажа, который наряду с многими достоинствами имеет и существенные недостатки.

С точки зрения ремонта такой аппаратуры важно знать основные из них для быстрого распознавания неисправности и ее устранения. Одним из таких недостатков являются микротрещины в соединительных линиях печатного монтажа, которые можно обнаружить лишь с помощью лупы. Чрезмерные механические усилия, прилагаемые к плате с печатным монтажом, могут привести к нарушению соединений, а также к появлению трещин в самой плате. Поэтому с платами надо обращаться очень осторожно.

Плохие пайки и трещины в соединительных линиях иногда удается обнаружить, легко постукивая отверткой в различных местах платы. Если речь идет о радиоприемнике или усилителе, то при постукивании в непосредственной близости от плохой пайки или трещины в громкоговорителе прослушивается треск. Регулятор громкости при этом следует устанавливать в среднее положение. Если трещина обнаружена, ее можно залить каплей припоя.

При пайке следует избегать чрезмерного перегрева печатной платы, так как полоски фольги сравнительно легко отклеиваются. Перегрев может также разрушить близко расположенные детали. Поэтому лучше всего пользоваться паяльником мощностью около 25 *вт* с хорошо заточенным и облуженным жалом. Пайку следует производить, как можно быстрее и пользоваться при этом припоем, внутри которого содержится флюс. Такой припой специально предназначен для работы с печатными схемами. Температура его плавления несколько понижена. Ни в коем случае не следует пользоваться паяльной кислотой.

Иногда печатную плату с установленными деталями покрывают слоем изолирующего лака. Ясно, что как перед пайкой, так и перед измерением напряжений слой лака должен быть снят. Наилучшим растворителем в этом случае является ацетон. Смывать лак следует лишь на небольшом участке схемы. Для этого нужно пользоваться кусочком материи, не оставляющим волосков и слегка смоченным в ацетоне.

Извлекать из печатной схемы неисправные детали лучше всего, перекусывая их выводы кусачками. Удобнее пользоваться бокорезами небольших размеров. Новую деталь можно припаивать к оставшимся частям выводов. Оставшиеся части выводов можно, конечно, и убрать. Для этого надо прикоснуться к пайке углом жала паяльника и подождать до тех пор, пока проводники не выпадут сами. Тогда останутся отверстия, через которые можно пропустить выводы новой детали.

В отдельных случаях выводы заменяемой детали не удается извлечь из платы, не перегревая ее. Такой перегрев может разрушить

близрасположенные детали. Поэтому во всех случаях, когда есть опасность перегрева, новую деталь лучше припаивать непосредственно к выводам старой детали.

Некоторые детали, как, например, выводы катушек, трансформаторов, переменных радиаторов и т. п., крепятся к плате с помощью специальных лепестков. Эти лепестки пропускают в вырезы платы, а затем припаивают. Снимать такие детали опять-таки лучше всего предварительно откусывая лепестки в непосредственной близости от корпуса детали. После того как деталь снята, место припайки лепестка нагревают паяльником и лепесток выпадает сам по себе. Если этого не происходит, припой вокруг лепестка расплавляют, а сам лепесток вытаскивают пинцетом.

Особо тщательным нужно быть в том случае, когда деталь извлекается из схемы для проверки. Здесь нельзя перекусывать выводы. Деталь следует аккуратно выпаивать, пользуясь при этом теплоотводом. Извлекать детали из схемы для проверки следует только в самом крайнем случае.

После завершения ремонта следует тщательно осмотреть монтажную сторону платы и убедиться в том, что на соединительных линиях и особенно между ними не осталось капель олова. Лишь после такой проверки можно включать питание прибора. Следует помнить, что короткие замыкания между проводниками в большом числе случаев приводят к необходимости дополнительной замены дорогих транзисторов и других деталей.

При ремонте печатных схем требуются следующие инструменты: хорошо заточенные бокорезы, плоскогубцы различных размеров с заостренными концами, несколько пинцетов различных размеров, два или три паяльника средней и малой мощности с различными размерами жала, обычная отвертка и обычные плоскогубцы.

ПЛАН НА 1973 ГОД

Общие вопросы

АКСЕНОВ А. И., ГЛУШКОВА Д. Н. Мощные транзисторы в радиоустройствах. 5 л. 21 к.

КУЗЬМИН Е. Н. Советы начинающему радиолюбителю. 7 л. 28 к.

СКРИПНИКОВ Ю. Ф. Радиаторы для полупроводниковых приборов. 3 л. 12 к.

Справочник радиолюбителя-конструктора. Под. ред. Р. М. МАЛИНИНА. 50 л. 2 р. 40 к.

Радиоэлектроника и новая техника

БОРИСОВ Ю. Лазер служит человеку. 7 л. 29 к.

БОЧАРОВ Л. Н. Эквивалентные схемы и параметры полупроводниковых приборов. 8 л. 33 к.

ПЕТИН Г. Н. Транзисторные усилители с линейными и нелинейными связями. 4 л. 17 к.

СМИРНОВ А. Д. Радиолюбители — промышленности. 8 л. 33 к.

ШИЛЕЙКО А. В., ШИЛЕЙКО Т. И. Кибернетика без математики. 11 л. 45 к.

Радиоприем

ГЕНДИН Г. С. Модернизация бытовой радиоаппаратуры. 11 л. 45 к.

МОМОТ Е. А. Приставки к радиоприемникам. 6 л. 25 к.

НОВОСЕЛОВ Л. Е. Карманные транзисторные приемники IV класса. (Справочное пособие). 10 л. 41 к.

ХМАРЦЕВ В. С. Высококачественные любительские транзисторные приемники. 3 л. 13 к.

Телевидение

БЕРНШТЕЙН А. С. Как работает кинескоп. 7 л. 29 к.

СОТНИКОВ С. К. Телевизоры из готовых блоков. 7 л. 29 к.

ТАРАСОВ В. С. Лампово-полупроводниковый телевизор «Старт-6» и «Старт-308». 5 л. 21 к.

Звукозапись, электроакустика, электромузыка

АПОЛЛОНОВА Л. П., ШУМОВА Н. Д. Грамзапись и ее воспроизведение. 7 л. 29 к.

ВОВЧЕНКО В. С. Звук на любительской киноленте. 5 л. 21 к.

ГАЛЕЕВ Б. М., АНДРЕЕВ С. А. Принципы конструирования цветомузыкальных устройств. 7 л. 29 к.

ПОЛЯКОВ Г. А. Применение громкоговорителей и телефонов. 6 л. 25 к.

ПОРТНОЙ Б. В. и др. Концертный комплекс электромузыкальных инструментов. 3 л. 13 к.

ФУРДУЕВ В. В. Стереофония и многоканальные звуковые системы. 11 л. 45 к.

Измерения, справочные материалы, детали

БАРАНОВ Ю. И. Измерительные приборы на транзисторах 5 л. 21 к.

ЗЕЛЬДИН Е. А. Зарубежные приемно-усилительные лампы. Изд. 2-е. 6 л. 25 к.

МИХАЙЛОВ И. В., ПРОПОШИН А. И. Конденсаторы. Изд. 2-е. 4 л. 17 к.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГОРДОН ДЖ. КИНГ

УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТРАНЗИСТОРНЫХ УСТРОЙСТВ

Редактор В. В. Маленженков
Редактор издательства А. П. Алешкин
Обложка художника Н. Т. Ярешко
Технический редактор Г. Г. Хацкевич
Корректор Г. Г. Желтова

Сдано в набор 17/I 1973 г. Подписано к печати 3/VII 1973 г. Формат $84 \times 108^1/_{32}$ Бумага типографская № 3. Усл. п. л. 5,88 Уч.-изд. л. 7,56. Тираж 50 000 экз. Зак. 51. Цена 39 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

Цена 39 коп.